

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE
À L'OBTENTION DE LA
MAÎTRISE EN GÉNIE DE CONSTRUCTION
M. Ing.

PAR
OUAHDI, Sabah

ÉTUDE ET ANALYSE DES RISQUES DANS LES PROJETS PPP :
PROPOSITION DE HIÉRARCHISATION

MONTREAL, LE 3 JUILLET 2008

© Sabah Ouahdi, 2008

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Edmond Miresco, directeur de mémoire
Département Génie de Construction à l'École de technologie supérieure

M. Saad Bennis, président du jury
Département Génie de Construction à l'École de technologie supérieure

M. Gabriel Lefebvre, membre du jury
Département Génie de Construction à l'École de technologie supérieure

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier en premier lieu mon directeur de mémoire, M. Edmond Miresco pour ses précieux conseils, sa patience et aussi pour son soutien et ses encouragements tout au long du projet.

Ensuite, je remercie aussi M. Jean Comeau pour son aide et ses conseils.

Merci aussi à M. Khaoula Charaf pour son soutien moral et sa patience à lire le présent mémoire.

Je n'oublie pas mon époux Lazhar Aissa-Mebrek pour son soutien tout au long du projet.

ÉTUDE ET ANALYSE DES RISQUES DANS LES PROJETS PPP : PROPOSITION DE HIÉRARCHISATION

OUAHDI, Sabah

RÉSUMÉ

Durant la dernière décennie, le monde a assisté à une ruée du secteur public vers l'utilisation des fonds privés sous forme de contrats appelés Partenariats Public-Privés (PPP). La gestion des risques dans les PPPs constitue le cheval de Troie de tous les partenaires qui s'efforcent à comprendre les plus fins des impacts pour assurer un profit raisonnable et constant du projet, et ce, durant toute la période de concession. Les problèmes auxquels les gestionnaires sont souvent confrontés sont : comment s'assurer que tous les risques sont identifiés d'une part, et est-ce que l'importance (impact) des risques est bien estimée? D'autre part, plusieurs méthodes d'analyse des risques ont été développées et appliquées à travers le monde sur des projets PPPs. Ces méthodes sont de nature subjective (qualitative) ou objective (quantitative). Le but essentiel de toutes ces méthodes est de permettre aux gestionnaires d'évaluer les risques et de les hiérarchiser selon leur importance dans le projet. Cette hiérarchisation permet de focaliser les efforts sur certains risques et de les suivre tout au long du projet pour éviter que leurs impacts ne deviennent catastrophiques sur le rendement, la durée et la qualité du projet. Dans le présent mémoire, une revue des plus importantes méthodes d'analyse des risques est faite, tant qualitatives que quantitatives, ainsi que quelques exemples d'applications des PPPs dans plusieurs types de projets à travers le monde. Et pour conclure ce travail d'analyse et de recherche, un modèle d'aide à la sélection des méthodes d'analyse et à la hiérarchisation des risques est proposé. C'est un outil essentiel au gestionnaire permettant de distinguer les différentes étapes et méthodes utilisées pour identifier, évaluer et hiérarchiser les risques dans un projet PPP. Et finalement, une série de recommandations sera formulée pour donner des axes de recherches à approfondir ultérieurement sur les risques des projets de partenariat public privé.

Mots-clés : Partenariat Public-Privé, gestion de risque, analyse qualitative, analyse quantitative, hiérarchisation

STUDY AND ANALYSIS OF RISKS IN PPP PROJECTS: PRIORITIZATION PROPOSAL

OUAHDI, Sabah

ABSTRACT

During the last decade, the world has seen a rush of the public sector towards the use of the private funds for the Private-Public Partnership contracts. Risk management in PPPs constitutes the Trojan horse for all parties that spend great efforts to understand all the risk impacts to ensure a reasonable and constant profit for the whole concession period. The problems that managers have to resolve are: firstly how to be sure that all risks are identified, and secondly if the importance of each risk is well estimated? Numbers of analysis methods were developed and applied all over the world for PPP projects. These methods can be subjective (qualitative) or objective (quantitative). The main objective of these methods is to give managers some tools for evaluating and prioritizing risks according to their importance in the project. This prioritization helps to focus efforts on certain risks and to follow their evolution during the project life cycle to avoid their catastrophic impact on the revenue, the delay and the project quality. In this thesis, a review of the most important qualitative and quantitative methods is presented with some examples in many PPP project types all over the world. As a conclusion of this research we propose a model helping to select analysis methods and to prioritize risks. This model is an essential tool for manager allowing them to distinguish different steps and methods used to identify, assess and prioritize risks in PPP projects. Finally, some recommendations are suggested to provide some topics for future researches on risks in PPP projects.

Keywords: Public-Private Partnership, risk management, qualitative analysis, quantitative analysis, prioritization

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
 CHAPITRE 1 LE PARTENARIAT PUBLIC-PRIVÉ.....	 5
1.1 Introduction.....	5
1.2 Infrastructure publique et secteur privé	7
1.3 PPP du point de vue public	8
1.4 PPP du point de vue privé	10
1.5 Les différents modèles de PPPs	11
1.5.1 Design-Build (DB) - Concevoir-Construire.....	11
1.5.2 Operation & Maintenance Contract (O & M) – Contrat de Maintenance et d’Opération	12
1.5.3 Design-Build-Finance-Operate (DBFO) – Concevoir-Construire-Financer- Opérer	12
1.5.4 Build-Own-Operate (BOO) – Construire-s’Approprier-Opérer	12
1.5.5 Build-Own-Operate-Transfer (BOOT) – Construire-s’Approprier-Opérer- Transférer	12
1.5.6 Buy-Build-Operate (BBO) – Acquérir-Construire-Opérer	12
1.5.7 Operation Licence – Licence d’Opération.....	13
1.6 Degré d’implication du secteur privé dans les PPPs.....	15
1.7 PPPs mythes et réalités	17
1.8 Conclusion	20
 CHAPITRE 2 GESTION DU RISQUE	 21
2.1 Introduction.....	21
2.2 Cycle de vie du processus de gestion du risque.....	23
2.3 Identification des risques	24
2.4 Analyse du risque.....	29
2.4.1 Évaluation du risque	30
2.4.2 Différents types d’évaluation du risque	32
2.4.3 Hiérarchisation du risque	33
2.5 Stratégies de réduction du risque (Plan d’action)	34
2.5.1 Rétention du risque	34
2.5.2 Minimisation du risque	34
2.5.3 Partage du risque (Allocation)	35
2.5.4 Transfert du risque	35
2.6 Suivi et contrôle du risque	35
2.7 Communication du risque	35

2.8	Documentation du risque	36
2.9	Classification des risques dans les PPPs.....	39
2.10	Conclusion	43
CHAPITRE 3 ANALYSE QUALITATIVE		44
3.1	Introduction.....	44
3.2	Matrice de probabilité versus impact du risque	44
3.3	Exposition au risque.....	45
3.4	Synthèse des risques (effet cumulatif)	47
3.5	Méthode des Systèmes Mous (SSM)	48
3.6	Diagramme d'influence	50
3.7	Méthode Delphi	52
3.8	Analyse Préliminaire.....	53
3.9	Analyse HAZOP	54
3.10	Analyse Cause/Conséquence (ACC)	55
3.11	Méthode des ensembles flous (Fuzzy Sets)	56
3.12	Conclusion	58
CHAPITRE 4 ANALYSE QUANTITATIVE		59
4.1	Introduction.....	59
4.2	Arbres de décision à simple objectif (ADSO)	60
4.3	Arbre de défaillance	66
4.3.1	Opérateurs Logiques :	66
4.3.2	Opérateur ET (AND)	67
4.3.3	Opérateur OU (OR).....	68
4.3.4	Différents montages des sous-systèmes.....	69
4.3.5	Limitations de l'arbre de défaillance	70
4.4	Analyse des modes de défaillance, d'effets et de criticités.....	76
4.5	Analyse de sensibilité	81
4.6	Méthode Monte Carlo	87
4.7	Chaînes de Markov	89
4.8	Les réseaux de neurones	93
4.9	Méthode PERT.....	96
4.10	Conclusion	100
CHAPITRE 5 MÉTHODES D'ANALYSE APPLIQUÉES AUX PPPS		101
5.1	Introduction.....	101
5.2	Évaluation des risques des PPPs pour les projets des infrastructures.....	101
5.2.1	Définition du projet.....	101
5.2.2	Origines des risques	101
5.2.3	Les risques identifiés.....	104
5.2.4	Analyse des risques.....	104

5.2.5	Résultats des différentes analyses	109
5.3	Analyse des risques dans les BOT pour les projets des centrales électriques	111
5.3.1	Définition du projet.....	111
5.3.2	Analyse des risques sous DynRisk	111
5.3.3	Diagramme d'influence	112
5.3.4	Modèle du flux monétaire	113
5.3.5	Analyse probabiliste.....	115
5.4	Évaluation des risques dans les projets de construction par la méthode des ensembles flous.....	121
5.4.1	Définition de l'univers des ensembles flous	121
5.4.2	Opérations sur les ensembles flous	123
5.4.3	Évaluation des risques.....	124
5.4.4	Exemple d'application	129
5.4.5	Conclusion	133
5.5	Évaluation des entrepreneurs selon les critères du client par la méthode PERT	134
5.5.1	Les objectifs du client (public)	134
5.5.2	Critères de sélection des entrepreneurs.....	134
5.5.3	Évaluation des critères entrepreneurs versus client avec la méthode PERT.....	136
5.5.4	Méthodologie d'évaluation	144
5.5.5	Analyse du risque et conclusion	149
5.6	Sélection et Application des outils de gestion des risques aux projet PPPs	151
5.6.1	Préférence des méthodes par type d'intervenant	153
5.7	Conclusion	155
CHAPITRE 6 RÉSULTATS DE LA RECHERCHE		156
6.1	Classification descendante	160
6.2	Importance du modèle.....	161
6.3	Exemple d'application	162
6.4	Hierarchisation des risques	169
CHAPITRE 7 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....		171
7.1	Conclusion	171
7.2	Recommandations.....	173
ANNEXE I SOMMAIRE DES OUTILS ET TECHNIQUES D'ANALYSE DES RISQUES DANS LES PPPS		175
BIBLIOGRAPHIE.....		176

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1.1 Les principaux modèles de PPPs	14
Tableau 1.2 Temps d'achèvement des projets PPP versus projets conventionnels	19
Tableau 1.3 Types de dépassements de coûts dans les projets PPP	19
Tableau 2.1 Exemple de registre des risques	38
Tableau 2.2 Liste des risques dans les PPPs	42
Tableau 3.1 Détermination des probabilités et impacts des risques (Registre des risques)	45
Tableau 3.2 Matrice de probabilité versus impact	46
Tableau 4.1 Les profits en fonction des ventes et de la taille des béquilles	63
Tableau 4.2 Données de défaillance des événements	73
Tableau 4.3 Exemple de valeurs du paramètre G	78
Tableau 4.4 Exemple de valeurs du paramètre F	79
Tableau 4.5 Exemple de valeurs du paramètre D	79
Tableau 4.6 Données de défaillance du système PWR	84

Tableau 4.7	Fussel-Vesely Rank Order of Components Using Monte Carlo simulation.....	85
Tableau 5.1	La sensibilité du taux d'intérêt pour l'acquéreur	106
Tableau 5.2	La sensibilité du taux d'inflation pour l'acquéreur.....	107
Tableau 5.3	La simulation Monte-Carlo pour l'analyse des risques des rendements des capitaux et des dettes pour le promoteur	108
Tableau 5.4	Principaux critères et sous-critères pour l'évaluation des entrepreneurs...	135
Tableau 5.5	Les poids des 20 critères de sélection des entrepreneurs.....	137
Tableau 5.6	Calcul des poids des sous-critères dans l'ensemble des critères principaux	138
Tableau 5.7	Estimations des critères client pour le critère entrepreneur stabilité financière.....	141
Tableau 5.8	Estimations des critères client pour le critère entrepreneur taux de crédit faible	141
Tableau 5.9	Moyenne attendue, variance et écart type des entrepreneurs A, B, C et D pour les objectifs du client.	145
Tableau 6.1	Risques communs aux projets internationaux.....	163
Tableau 6.2	Risques communs aux projets PPPs	164
Tableau 6.3	Risques communs aux projets de transport.....	165

Tableau 6.4	Risques communs aux projets de transport ferroviaire.....	165
Tableau 6.5	Risques du projet en cours	166

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1.1	Degré d'implication du secteur privé.....17
Figure 2.1	Cycle de vie du processus de gestion du risque24
Figure 2.2	Le caractère bidimensionnel du risque31
Figure 2.3	Hiérarchisation du risque33
Figure 2.4	Exemple de documentation du risque37
Figure 3.1	Le cycle d'apprentissage de la MSM (SSM)48
Figure 3.2	Diagramme d'influence des dépenses d'équipement.....51
Figure 3.3	Diagramme d'analyse ACC55
Figure 4.1	Arbre de décision61
Figure 4.2	Arbre de décision pour le problème des béquilles64
Figure 4.3	Composantes liées par un opérateur ET (AND)67
Figure 4.4	Composantes liées par un opérateur OU (OR)68
Figure 4.5	Composantes liées en série69

Figure 4.6	Composantes liées en parallèle	69
Figure 4.7	Système de pompage.....	71
Figure 4.8	Arbre de défaillance	72
Figure 4.9	Les différents états du système	73
Figure 4.10	La méthode FMECA du design	77
Figure 4.11	Le coût versus la variation de sensibilité	82
Figure 4.12	Schéma du système d'alimentation en eau - PWR	83
Figure 4.13	Exemple de graphe de transition.....	90
Figure 4.14	Graphe de transition du système	91
Figure 4.15	Présentation graphique d'un neurone.....	93
Figure 4.16	Un réseau de neurones multicouches.....	94
Figure 4.17	Exemple d'un graphe PERT et chemin critique en rouge.....	97
Figure 4.18	Différentes formes de la distribution Bêta	99
Figure 5.1	Les arrangements contractuels dans un projet PPP.....	103
Figure 5.2	Schéma de l'approche analytique	110

Figure 5.3	Exemple de diagramme d'influence	112
Figure 5.4	Modèle du flux monétaire	113
Figure 5.5	Actualisation du flux cumulé	115
Figure 5.6	Actualisation du flux monétaire pour les capitaux propres	116
Figure 5.7	Analyse de sensibilité du modèle d'évaluation du projet	117
Figure 5.8	Analyse de variance du modèle d'évaluation du projet	118
Figure 5.9	Analyse de sensibilité du modèle de financement du projet.....	119
Figure 5.10	Analyse de variance du modèle de financement du projet	120
Figure 5.11	Structure de l'analyse par les ensembles flous	122
Figure 5.12	Représentation des trois ensembles flous du terme gestion (mauvaise, moyenne, excellente)	125
Figure 5.13	Structure de l'analyse des risques	126
Figure 5.14	Courbes des trois ensembles (Low, Medium, et High).....	129
Figure 5.15	Superposition des courbes des risques Low, Medium, et High avec la courbe résultat	132
Figure 5.16	Méthodologie d'évaluation des soumissions	144
Figure 5.17	Les courbes des distributions normales des entrepreneurs A, B, C, D	147

Figure 5.18	Le temps et le dépassement du coût attendu versus les variances des entrepreneurs A, B, C et D.....	150
Figure 5.19	Niveaux d'identification des risques dans les PPPs.....	152
Figure 5.20	Modèle pour la sélection de méthodes d'analyse des risques.....	154
Figure 6.1	Modèle d'aide à la hiérarchisation des risques dans les PPPs	158
Figure 7.1	Modèle d'un système expert	173

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

ACC	Analyse Cause/Conséquence
ADSO	Arbres de décision à simple objectif
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillance, d'Effets et de Criticités
AV&S	Almond Valley and Seafield
BBO	Buy-Build-Operate
BOO	Build-Own-Operate
BOOT	Build-Own-Operate-Transfer
BOT	Build-Operate-Transfer
CAPEX	CAPital EXpenditure
CCA	Cause-Consequence Analysis
CPM	Critical Path Method
DB	Design-Build
DBFO	Design-Build-Finance-Operate
EOL	Expected Opportunity Loss

ESW	East of Scotland Water
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
FMECA	Failure Mode, Effects and Criticality Analysis
FS	Financial Soundness
HAZOP	HAZard and OPerability study
HS	Health and Safety
IRR	Internal Rate of Return
MC	Management Capabilities
MISI	Méthode de l'Indice de Sensibilité à l'Incertitude
MSM	Méthode des Systèmes Mous
NPV	Net Present Value
O&M	Operation & Maintenance Contract
OL	Operation License
OM	Operating and Maintenance
ONU	Organisation des Nations Unies

PERT	Program Evaluation and Review Technique
PFI	Private Finance Initiatives
PHA	Preliminary Hazard Analysis
PPP	Partenariat Public-Privé
PRA	Probabilistic Risk Assessment
PWR	Pressurized Water Reactor
RAW	Risk Achievement Worth
RPI	Retail Prices Index
RRW	Risk Reduction Worth
SODT	Single-Objective Decision-Tree
SSM	Soft System Methodology
TA	Technical Ability
USIM	Uncertainty Sensitivity Index Method
VFM	Value For Money

INTRODUCTION

Comme son nom l'indique, le partenariat public privé (PPP) est un genre de contrat signé entre le secteur public présenté par le gouvernement et le secteur privé présenté par une ou plusieurs compagnies privées regroupées généralement dans un consortium. Le principe du contrat consiste à utiliser les fonds du secteur privé pour assurer un service ou maintenir une infrastructure habituellement assurée et maintenue par le secteur public.

Le partenariat public privé touche presque tous les domaines tels que le transport (routes, ponts, tunnels, voies ferrées, ports, aéroports, etc.), les infrastructures sociales (hôpitaux, écoles, prisons, etc.), les services publics (alimentation en eau potable, traitement des eaux usées, etc.) et même autres services gouvernementaux tels que les télécommunications et la défense.

Les projets partenariat publics privés sont très complexes à structurer, car ils se basent sur le principe de trouver un terrain d'entente pour un grand nombre d'intervenants (stakeholders) issus parfois de différents pays et cultures.

Le risque se trouve au cœur des négociations entre les différents partenaires d'un projet PPP. Le risque peut être discuté aussi bien entre les instances gouvernementales et la compagnie privée, comme au sein du consortium privé entre le promoteur (sponsor), les institutions financières, et les entrepreneurs.

L'importance du risque dans les PPPs a poussé tous les partenaires d'un projet et même les universitaires et les compagnies spécialisées à se pencher sur l'analyse des risques probables dans ce genre de projets. Beaucoup de recherches ont été faites sur les concepts, les outils, et les technologies développés pour analyser les types de risques rencontrés dans les différentes phases d'un projet PPP, tels que les risques politiques, les risques économiques, les risques reliés au site, les risques de construction, les risques d'achèvement, les risques opérationnels et même les risques des forces majeures et les risques culturels.

Dans ce mémoire, nous présentons les PPPs et les différentes méthodes d'analyse des risques dans le but d'aboutir à un modèle d'aide à la sélection des méthodes d'identification et d'évaluation pour la hiérarchisation des risques dans les projets PPPs.

Le premier chapitre traite la notion du partenariat public-privé, ses origines, sa perception du point de vue du public et du privé, ses différents modèles, ainsi que le degré d'implication du secteur privé dans les infrastructures ou services publics.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons la notion du risque et sa gestion systématique. Le cycle de vie du processus de gestion est exposé plus ou moins en détail en débutant par l'identification, l'analyse (qualitative, semi-quantitative et quantitative), les stratégies de réduction, le suivi, la communication et enfin la documentation. Nous clôturons le chapitre par les différentes classifications des risques dans les modèles de partenariat public-privé.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude détaillée des méthodes qualitatives. Les notions d'exposition au risque et la matrice de probabilité versus l'impact y sont expliquées. Par la suite, quelques méthodes d'analyse qualitatives sont présentées à savoir : la méthode des systèmes mous (MSM), le diagramme d'influence, la méthode Delphi, l'analyse préliminaire, l'analyse HAZOP, l'analyse cause/conséquence et enfin la méthode des ensembles flous.

Dans le quatrième chapitre, nous étudions en détail les méthodes dites quantitatives à savoir : les arbres de décisions à simple objectif, l'arbre de défaillance, l'analyse des modes de défaillance d'effets et de criticités, l'analyse de sensibilité, la méthode Monte Carlo, les chaînes de Markov, les réseaux de neurones et enfin la méthode PERT. Quelques exemples sont donnés pour faciliter la compréhension de certaines méthodes. Les méthodes les plus complexes en matière de calcul sont présentées sans exemple d'application telle que la méthode Monte Carlo.

Le cinquième chapitre traite quelques applications réelles, dans les projets PPPs, de certaines méthodes présentées dans les chapitres précédents. Ces applications sont tirées d'articles

publiés traitant les méthodes d'analyses des risques projetées sur des projets Partenariat Public-Privé.

- Le premier article « *Evaluating the risks of public private partnerships for infrastructure projects* » (Darrin et al. 2002) traite l'évaluation des risques des PPPs pour les projets d'infrastructures. L'analyse du risque s'est basée sur les trois principaux acteurs du projet qui sont l'acquéreur (procurer), le promoteur (sponsor) et le prêteur (lender). Les méthodes utilisées sont celles de Monte carlo et de sensibilité.
- Le deuxième article « *Risk Analysis of a Build-Operate-Transfer (B.O.T) Power Plant Project* » (T.S. Chee et al. 1995) s'est focalisé sur l'analyse des risques dans les projets Build-Operate-Transfer (BOT) pour les centrales électriques. Le projet a été subdivisé en deux modèles : le modèle d'évaluation et le modèle de financement. Les méthodes utilisées sont la méthode Monte Carlo et l'analyse de sensibilité.
- Le troisième article « *Construction Risk Assessment by Linguistics* » (Roozbeh Kangari, et al. May 1987) s'intéresse à l'évaluation des risques dans les projets de construction par la méthode des ensembles flous.
- Le quatrième article « *Assessment and evaluation of contractor data against client goals using PERT approach* » (Zedan Hatush, et al. 1997) évalue les entrepreneurs selon les critères du client en utilisant la méthode PERT.
- Le cinquième article « *Selection and application of risk management tools and techniques for build-operate-transfer projects* » (Prasanta K. Dey, et al. 2004) traite la sélection et l'application des outils de gestion des risques aux projets PPPs et propose une nouvelle approche descendante de sélection et d'application des méthodes de gestion des risques à ce type de projet.

La sixième partie est consacrée aux résultats de la recherche et propose un modèle d'aide à la sélection des méthodes d'identification, d'évaluation et de hiérarchisation des risques dans les projets PPPs. Ce modèle se voit être un outil essentiel à tout gestionnaire de risque espérant à faire une gestion systématique et optimale des risques.

Enfin, nous terminons ce mémoire en formulant un nombre de recommandations pour mener les recherches futures dans le domaine de la gestion des risques dans les PPPs.

CHAPITRE 1

LE PARTENARIAT PUBLIC-PRIVÉ

1.1 Introduction

Malgré que le terme Partenariat Public-Privé est assez récent, le recours aux fonds privés par les gouvernements pour financer des projets publics est une pratique très ancienne. À la fin du 18^{ème} et au début du 19^{ème} siècle, le gouvernement britannique a utilisé l'argent du privé pour réparer les routes, ensuite il a remboursé sa dette en utilisant les paiements collectés à l'accès aux voies de circulation (péage). Le financement privé des projets publics a aussi été utilisé en France au 17^{ème} siècle pour la réalisation des canaux fluviaux et aux USA à la fin du 19^{ème} siècle pour la construction du Brooklyn Bridge à New York (E.R. Yescombe 2007).

Ces dernières années, le monde a assisté à une ruée des gouvernements vers le secteur privé en essayant d'attirer celui-ci vers le développement, le financement, la construction et l'exploitation des infrastructures publiques dans une multitude de domaines, tels que le transport, l'énergie, la santé, etc. (Bulent Gurel. 2005).

Le nombre important de projets PPP entrepris à travers la planète et leurs différents types rendent difficile d'émettre une seule définition du terme PPP (Akintola A. et al, 2003). Le Conseil Canadien pour les Partenariats Public-Privés définit le terme PPP comme étant :

« Une entreprise coopérative entre les secteurs public et privé, bâtie sur l'expertise de chaque partenaire, qui répond le mieux à des besoins publics clairement définis par un partage approprié des ressources, des risques et des profits. » (Conseil Canadien Pour les Partenariats Public-Privés – Définition) (Akintola A. et al, 2003).

La définition donnée au PPP par le Conseil National pour les Partenariats Public-Privés des États-Unis est la suivante :

« Un contrat entre une agence du secteur public et un intérêt du secteur privé à but lucratif, où les ressources et les risques sont partagés pour fournir un service ou développer une infrastructure publique. » (Akintola A. et al, 2003).

L'Organisation des Nations Unies (ONU) définit le PPP comme étant un dialogue officieux entre le gouvernement et les organisations communautaires locales pour une concession, à long terme et sans privatisation, des commerces au secteur privé. (Akintola A. et al, 2003).

Quelle que soit la définition adoptée, dans tout projet PPP, un arrangement est signé entre le gouvernement et une compagnie privée pour fournir un service qui devait être fourni par le secteur public. Ces arrangements sont dictés par la limitation des fonds publics pour les investissements et aussi dans le but d'améliorer la qualité du service à offrir (Bulent Gurel. 2005).

Le partenariat entre les secteurs public et privé peut aller d'un simple service que le privé peut assurer, comme le ramassage des poubelles jusqu'à l'appropriation (privatisation) de l'infrastructure ou du service par celui-ci (Akintola A. et al, 2003).

Les PPPs sont considérés comme une nouvelle approche, qui permet au client du secteur public et au fournisseur du secteur privé de conjuguer leurs efforts et leurs points forts pour réaliser des profits qui ne peuvent jamais être atteints par chacun des deux partenaires séparément (Akintola A. et al, 2003).

Dans les types de projets conventionnels, le secteur privé est responsable du projet entre la phase de planification et la phase d'achèvement. Mais dans les arrangements PPPs le secteur privé s'occupe aussi de l'exploitation de l'infrastructure, du service, du financement du projet et assume beaucoup de risques, surtout les risques relatifs à la phase d'exploitation (Bulent Gurel. 2005).

1.2 Infrastructure publique et secteur privé

L'infrastructure publique peut être définie comme des services nécessaires au fonctionnement de l'économie et au bien-être de la société. Donc, l'infrastructure publique n'est pas une fin en soi même, mais plutôt un moyen pour la prospérité économique et sociale. Ces infrastructures publiques peuvent être catégorisées en deux types (E.R. Yescombe 2007) :

- Infrastructures économiques : telles que le transport, les réseaux aqueduc et électrique, etc. Ces infrastructures sont nécessaires à l'activité économique, et
- Infrastructures sociales : telles que les écoles, les hôpitaux, les librairies, les prisons, etc. Ces infrastructures sont nécessaires à l'activité sociale.

Il est de la responsabilité du gouvernement d'assurer les services et les infrastructures publiques car (E.R. Yescombe 2007) :

- Le secteur privé ne tient pas compte de l'état économique du pays, ni de la prospérité sociale. Donc, l'intervention du gouvernement est nécessaire pour veiller sur le bien-être de toute la société;
- Sans cette intervention de l'État, les infrastructures ou services qui doivent être accessibles à tout individu, ne seront jamais construits ou assurés tels que : le réseau routier et les feux de circulation;
- Une faible compétition privée pour les infrastructures peut engendrer le monopole des services, d'où la nécessité de mettre en place certaines formes de contrôles publics;
- Même avec une forte compétition, l'État doit assurer certains services telles les écoles, car les riches peuvent se payer les écoles privées alors que les pauvres pourront ne pas avoir pas accès à l'éducation.

L'infrastructure a généralement besoin d'un grand investissement initial qui ne peut être amorti qu'avec un retour sur une longue période. Car il n'est pas facile pour le secteur privé de disposer de tels capitaux sans un support public.

1.3 PPP du point de vue public

La demande continue sur les services publics par les citoyens et l'indisponibilité des fonds pour les nouveaux projets ainsi que les coûts exorbitants de la maintenance des infrastructures vieillissantes ont poussé le secteur public à considérer les fonds privés comme une alternative pour assurer la continuité des services publics. D'un point de vue du public, les PPPs offrent plusieurs variétés de bénéfices pour les gouvernements. L'ouvrage d'Akintola Akintoye et al. (2003) résume les principaux avantages dans ce qui suit :

- **Amélioration des capacités publiques à développer des solutions intégrées** : Selon le processus conventionnel, les grands projets sont généralement divisés en plusieurs unités qui doivent être réalisées séparément et séquentiellement dans le temps pour des contraintes budgétaires. De ce fait, le secteur public ne pourra jamais avoir la possibilité de réaliser des solutions intégrées. Les PPPs avec leur puissance financière peuvent permettre le développement des solutions intégrées.
- **Créativité et innovation** : Les projets PPPs permettent au gouvernement de se concentrer sur les services et d'exiger un certain niveau à offrir par le secteur privé, ce qui a comme effet d'éveiller l'esprit de concurrence chez les compagnies privées pour démontrer leurs compétences et développer des solutions innovatrices.
- **Réduction des coûts d'implémentation des projets** : Les projets PPPs ont la réputation de coûter moins cher au secteur public, ou du moins offrir une meilleure qualité pour le même prix. Par exemple, le gouvernement de la Colombie-Britannique a économisé 17 millions de dollars dans le projet du Centre Académique de Soins Ambulatoires (AACC - Academic Ambulatory Care Center) en sélectionnant la compagnie AVH (Access Health Vancouver) comme partenaire privé pour l'implémentation du projet (Vancouver Coastal Health. 2004).
- **Réduction du temps d'implémentation des projets** : Selon le processus conventionnel, les grands projets sont découpés en de multiples petits projets à réaliser sur une longue

période. Selon le guide des municipalités de la Nouvelle-Écosse, le temps peut être réduit dans les PPPs car ces derniers :

- Permettent d'entamer le design et la construction d'une manière simultanée plutôt que séquentielle;
 - Utilisent des motivations pour encourager les compagnies à respecter les délais d'achèvement;
 - Réduisent le nombre de fois que le gouvernement fait recours aux appels d'offres pour la sélection des compagnies privées;
 - Découragent les changements dans le design du projet à cause des retards et des surcoûts significatifs qu'ils peuvent engendrer.
- **Transfert de certains risques au secteur privé :** Un des objectifs des PPPs est de transférer les risques du secteur public au partenaire privé. Donc, une planification de transfert approprié des risques doit être faite au préalable, dans laquelle les risques les mieux gérés par le partenaire privé doivent être transférés au secteur privé tels que les risques relatifs à la phase de conception, de construction et d'exploitation, tandis que les risques qui peuvent être mieux gérés par le secteur public doivent être retenus par le gouvernement, tels que le changement des lois, etc.
 - **Attirer plusieurs soumissionnaires potentiels :** À cause de la taille importante des projets PPPs et leurs longues durées, les gouvernements sont capables d'attirer beaucoup de compagnies privées et de créer une forte compétition parmi elles. Cette compétition pousse le secteur privé à présenter beaucoup de propositions attirantes pour satisfaire les gouvernements. Néanmoins, le nombre de consortiums (compagnie privée) peut retarder le processus de sélection. Par exemple, la Chine a eu du retard dans l'octroi du contrat de construction d'un terminal de liquéfaction du gaz naturel à Shenzhen au montant de \$600 millions US, car le gouvernement avait besoin de plus de temps pour faire le choix entre quatre compétiteurs dont les compétences sont similaires.
 - **Bénéficier des compétences, de l'expérience et des nouvelles technologies :** À travers les PPPs, les gouvernements peuvent tirer profit des compétences, de l'expérience et des

nouvelles technologies, vu qu'un PPP exige une analyse rigoureuse du projet incluant l'étude des opportunités et d'innovation. Cela permet au secteur public d'étendre son expertise beaucoup plus que dans le cas de projets conventionnels.

Les PPPs peuvent être, également, un moyen très efficace pour les respects des standards durant toute la période de concession. Car la séparation entre l'instance régulatrice représentée par le secteur public et l'instance réalisatrice représentée par le secteur privé permet d'éviter les conflits d'intérêts. Les PPPs sont aussi considérés comme des générateurs puissants pour l'activité économique et la création d'emploi (Conseil Canadien Pour les Partenariats Public-Privés. Sept 2004).

Malgré les multiples avantages que présente un modèle PPP, l'autre face de la médaille montre que si la compagnie privée détient le monopole d'un service quelconque, elle peut profiter de la situation pour imposer des tarifs exorbitants aux consommateurs.

1.4 PPP du point de vue privé

La participation du secteur privé dans les projets PPPs lui procure plusieurs avantages tels que (Bulent Gurel. 2005) :

- 1- Dans un projet PPP, la compagnie privée peut assurer des profits extraordinaires avec un contrat d'exploitation à long terme;
- 2- Le secteur privé a une occasion d'étendre son expertise dans plusieurs domaines;
- 3- Dans le contrat d'entente, le secteur privé peut, dans certains cas, exiger l'absence de concurrents pour le service offert, ce qui assure une concordance des revenus estimés avec les entrées réelles tout au long du contrat.

Le secteur privé court beaucoup plus de risques dans un projet PPP que dans un projet conventionnel. Les principaux inconvénients sont (Bulent Gurel. 2005) :

- 1- La participation dans une soumission PPP peut coûter trop cher à la compagnie privée qui doit dépenser des montants considérables pour être éligible, surtout que ces montants ne sont pas remboursables. Le nombre de compétiteurs est un autre facteur qui vient augmenter le risque de ne pas se voir octroyer le contrat;
- 2- Dans les PPPs, les négociations sont dures et de longue haleine. Les investisseurs sous-estiment souvent la période de négociation qui peut durer plusieurs années;
- 3- Les PPPs peuvent faire l'objet d'opposition de la part de différentes formations politiques, environnementales, culturelles, etc. ce qui peut constituer une vraie contrainte pour le projet PPP;
- 4- La stabilité politique du pays hôte à long terme, est un autre risque que le secteur privé court. Ceci du au fait qu'un changement de politique interne ou même une mésentente politique peut avoir de graves conséquences sur les projets PPPs.

1.5 Les différents modèles de PPPs

Plusieurs modèles de PPPs ont été utilisés à travers le monde. Le Conseil Canadien Pour les Partenariats Public-Privés a donné une liste non exhaustive des différents modèles. Nous avons opté pour la terminologie Anglaise en premier avec une traduction Française à cause de l'absence d'une traduction Française connue et aussi dans le souci de respecter les ouvrages et les articles de recherche consultés (Conseil Canadien Pour les Partenariats Public-Privés – Définition) :

1.5.1 Design-Build (DB) - Concevoir-Construire

Dans ce modèle, le secteur privé conçoit et construit l'infrastructure pour répondre aux spécifications du secteur public, souvent avec un coût fixe, donc le risque des surcoûts est transféré au secteur privé.

1.5.2 Operation & Maintenance Contract (O & M) – Contrat de Maintenance et d'Opération

Sous les termes d'un contrat, un opérateur privé opère une infrastructure publique pour une durée déterminée. La propriété de l'infrastructure reste publique durant toute la période du contrat.

1.5.3 Design-Build-Finance-Operate (DBFO) – Concevoir-Construire-Financer-Opérer

Le secteur privé conçoit, finance et construit la nouvelle infrastructure avec un contrat de location à long terme, et dispose du droit d'opérer l'infrastructure pendant toute la durée du contrat. À la fin du contrat, la compagnie privée doit transférer l'infrastructure au secteur public.

1.5.4 Build-Own-Operate (BOO) – Construire-s'Approprier-Opérer

Le secteur privé finance, construit, s'approprie et opère l'infrastructure en perpétuité. Les conditions réglementaires du public sont signées dans le contrat original.

1.5.5 Build-Own-Operate-Transfer (BOOT) – Construire-s'Approprier-Opérer-Transférer

L'entité privée reçoit une franchise pour financer, concevoir, construire et opérer l'infrastructure et charger les frais du service aux usagers pour une période déterminée. À la fin de la période spécifiée, l'infrastructure est transférée au secteur public.

1.5.6 Buy-Build-Operate (BBO) – Acquérir-Construire-Opérer

Ce modèle consiste à transférer un bien public à un organisme parapublic ou privé avec un contrat visant sa mise à jour et son opération sur une période déterminée. Le bien ou l'infrastructure reste sous le contrôle du public durant toute la période du contrat.

1.5.7 Operation Licence – Licence d’Opération

L’opérateur privé se voit octroyer le droit d’assurer les opérations d’un service public, souvent pour une période déterminée. Ce modèle est généralement utilisé dans les projets relatifs à la technologie de l’information (TI).

Dans son ouvrage, Yescombe (2007) a donné un bref historique sur l’évolution des différents modèles, en statuant que les premiers projets étaient des contrats de types BOO (Build-Own-Operate) entre plusieurs compagnies privées, où l’infrastructure restait sous la propriété des investisseurs. Il était évident que ce type de structure pouvait être utilisé pour développer des projets du secteur public. Le concept de BOT (Build-Operate-Transfer) a été utilisé pour la première fois en Turquie pour des centrales d’énergies, la différence dans ce cas réside dans le fait que le client est un secteur public et que la propriété de la centrale passe des investisseurs au gouvernement à la fin de la période d’exploitation. Le passage du type BOT au type BTO (Build-Transfer-Operate) était très court et le transfert de la propriété est fait juste après l’achèvement de la construction. Enfin, le type de contrat DBFO (Design-Build-Finance-Operate) selon lequel la propriété de l’infrastructure reste entre les mains du public durant toute la période du contrat (E.R. Yescombe 2007). Le tableau 1.1 résume les principaux types de PPPs.

Tableau 1.1

Les principaux modèles de PPPs
(Tiré de E.R. Yescombe 2007)

Public and private provision of infrastructure

Contract Type	Public project		Public-Private Partnership		Private project	
	Public sector procurement	Franchise (Affermage)	Design-Build Finance-Operate (DBFO)*	Build-Transfer-Operate (BTO)**	Build-Transfer-Operate (BOT)***	Build-Own-Operate(BOO)
Construction	Public sector ⁽²⁾	Public sector ⁽²⁾	Private sector	Private sector	Private sector	Private sector
Operation	Public sector ⁽³⁾	Private sector	Private sector	Private sector	Private sector	Private sector
Ownership⁽⁴⁾	Public sector ⁽⁴⁾	Public sector	Public sector	Private sector during construction, then public sector	Private sector during Contract, then public sector	Private sector
Who pays?	Public sector	Users	Public sector or users	Public sector or users	Public sector or users	Private-sector off-taker public sector ⁽⁵⁾ , or users
Who is paid?	n/a	Private sector	Private sector	Private sector	Private sector	Private sector

* Also known as Design-Construct-Manage-Finance (DCMF) or Design-Build-Finance-Maintain (DBFM)
 ** Also known as Build-Transfer-Lease (BTL), Build-Lease-Operate-Transfer (BLOT) or Build-Lease-Transfer (BLT)
 *** Also known as Build-Own-Operate-Transfer (BOOT)
 (1) In all cases, ownership may be in the form of a joint venture between the public and private sectors
 (2) Public sector normally designs the Facility and engages private-sector contractors to carry out construction on its behalf (design-bid-build).
 (3) Public sector may enter into service (outsourcing) contracts (for operation and maintenance) with private-sector contractors.
 (4) Ownership may be through an independent publicly-owned Project company, i.e. a 'Public-Public Partnership'.
 (5) The BOO Contract form applies to PPPs in the minority of cases where ownership of the Facility does not revert to the public Authority at the end of the PPP Contract.

1.6 Degré d'implication du secteur privé dans les PPPs

Le degré de contrôle que le gouvernement exerce sur l'infrastructure ou le service dans un projet PPP, détermine le degré d'implication du secteur privé. D'après Akintola Akintoye et al. (2003), l'implication du privé dans le secteur public peut varier d'un simple service à assurer jusqu'à l'appropriation totale de l'infrastructure. Cette implication peut être catégorisée en cinq types selon le modèle de PPP, à savoir : Le contrat de service, l'accord de location, l'entreprise commune, la concession et la privatisation :

1. **Le contrat de service** (Service contract) : Plusieurs chercheurs ont suggéré que ce type de contrat constitue la plus simple forme de partenariat entre le public et le privé, tel que les services de sécurité, le service pour la technologie de l'information et la collecte de l'information de consommation de l'eau, de l'électricité, etc. En général, la durée de ce type de contrat varie entre six mois et deux années (Akintola A. et al, 2003), (Bulent Gurel. 2005);
2. **L'accord de location** (Leasing) : Il se rapporte aux situations où le secteur privé utilise un bien public en payant un montant de location pour assurer le service. Dans ce type d'arrangement, le secteur privé est responsable des frais d'exploitation, de réparation et de maintenance de l'infrastructure. Il se peut que la compagnie privée soit aussi responsable de la collecte des frais d'utilisation auprès des consommateurs, et par conséquent, elle assume les risques dus au volume d'utilisation. En général, dans ce type d'arrangement, le privé ne fait aucun nouvel investissement pour remplacer les parties détériorées de l'infrastructure. La durée des contrats de location varie entre huit et quinze années (Akintola A. et al, 2003);
3. **Les entreprises communes** (Joint ventures) : Dans ce cas, le secteur public et le secteur privé assument une responsabilité partagée de la co-propriété pour assurer le bon déroulement du service. Ce type d'arrangement est un « vrai » partenariat public-privé, dans lequel, tous les intervenants peuvent contribuer chacun de sa part pour générer un

profit commun et partagé. Sous les entreprises communes, le public agit comme une instance régulatrice et peut aussi fournir une assurance politique (Akintola A. et al, 2003);

4. **La concession** : Ce type d'arrangement est le plus important pour le secteur privé, et celui qui assure une meilleure valeur au service public. La compagnie privée finance, conçoit, construit, opère, maintient et possède l'infrastructure pour la durée du contrat qui varie entre 20 et 30 ans. Le gouvernement fait une concession de longue durée au secteur privé pour lui assurer un retour d'investissement (Akintola A. et al, 2003);
5. **La privatisation** : Ce type d'arrangement implique la vente du bien par le public au secteur privé qui assume la responsabilité de toutes les opérations. Il s'agit d'un transfert total sans aucune limitation dans le temps. Donnons l'exemple de la Nouvelle-Zélande qui a vendu sa compagnie des chemins de fer (National Railroad) à la Wisconsin Central Transportation Corporation pour un montant de 60 millions de dollars (Akintola A. et al, 2003).

La figure 1.1 montre le degré d'implication du secteur privé avec les différents modèles de partenariats.

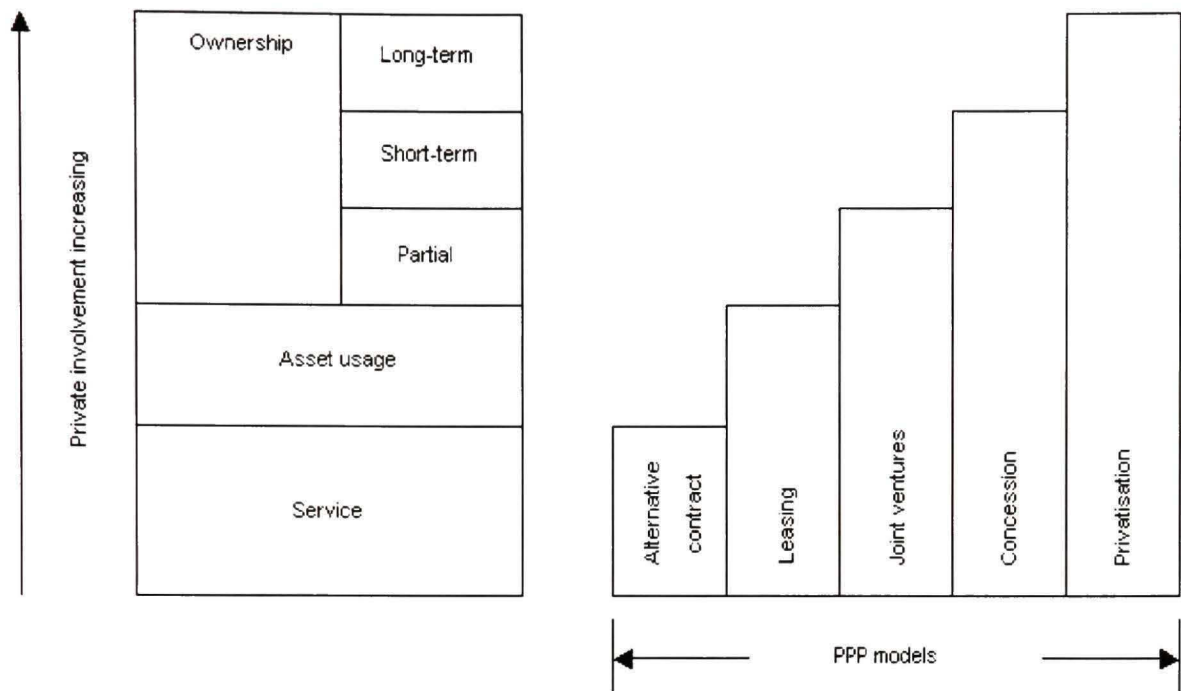


Figure 1.1 Degré d'implication du secteur privé
(Tirée de Akintola A. et al, 2003)

Source : Cette figure a été tirée de Akintola Akintoye, Matthias Beck et Cliff Hardcastle. 2003. Public-Private Partnerships Managing risk and opportunities, School of the built and natural environment, Glasgow Caledonian University. p. 11.

1.7 PPPs mythes et réalités

Beaucoup de projets PPPs ont été réalisés à travers le monde, dont énormément en Europe, en Asie et en Australie. Le Royaume-Uni a une grande expertise en matière d'implication du secteur privé dans les services publics avec plus de 620 contrats de financement privé PFI (Private Finance Initiatives) pour une valeur de 60 milliards d'Euros déjà signés et plus de 450 projets opérationnels (Conseil Canadien des Sociétés Publiques-Privées. Avril 2005). Le gouvernement Britannique investit seulement 15% du budget public annuel sur les projets PPPs qui ont le mérite d'être le principal facteur dans la modernisation des infrastructures publiques (Conseil Canadien Pour les Partenariats Public-Privés. Sept 2004).

Dans un rapport publié par la banque TD Bank Financial Group, les besoins financiers du Canada en matière d'investissement sont énormes :

- Vancouver court un déficit de \$151 millions pour le financement des projets publics pour la période de 2003-2005;
- Edmonton a un manque de capital cumulatif de \$3.2 milliards pour les dix années à venir;
- Calgary a un manque de capital cumulatif de \$1.1 milliard pour les cinq années à venir;
- Toronto a un déficit cumulatif de \$200 milliards par année pour les infrastructures;
- Montréal est confronté à un manque de \$9 milliards pour les quinze années à venir.

Avec les besoins perpétuels des services publics pour des populations en perpétuelle croissance, ces chiffres sont la preuve irréfutable et la raison essentielle pour laquelle les gouvernements doivent aller vers la solution PPP. Les tableaux 1.2 et 1.3 montrent une comparaison entre les projets conventionnels et les projets PPPs tirés d'une présentation faite à la commission parlementaire par le Conseil Canadien des Sociétés Publiques-Privées (Conseil Canadien des Sociétés Publiques-Privées. Nov. 2004).

Tableau 1.2

Temps d'achèvement des projets PPPs versus projets conventionnels
(Tiré du Conseil Canadien des Sociétés Publiques-Privées, 2004)

	PROJETS PUBLICS TRADITIONNELS	PROJETS DE PPP
Pourcentage de projets terminés en retard ¹	70 %	24 %
Pourcentage de projets dans le secteur de la santé ayant été terminés en retard ²	75 %	22 %
Pourcentage de projets routiers terminés en retard ²	S.O.	14 %
Pourcentage de projets dans le secteur carcéral ayant été terminés en retard ²	S.O.	0 %
Pourcentage de projets de construction terminés avec plus de 2 mois de retard ²	S.O.	8 %

Source: 1) 2001 National Audit Office Report, Royaume-Uni

2) Rapport du 5 février 2003, National Audit Office Report, Royaume-Uni

Source : Ce tableau a été tiré d'une présentation faite à la commission parlementaire par le Conseil Canadien des Sociétés Publiques-Privées (Conseil Canadien des Sociétés Publiques-Privées, Nov. 2004).

Tableau 1.3

Types de dépassements de coûts dans les projets PPPs
(Tiré du Conseil Canadien des Sociétés Publiques-Privées, 2004)

TYPE DE DÉPASSEMENT DE COÛTS	POURCENTAGE DE PPP SANS DÉPASSEMENT DE COÛTS
Aucun dépassement de coûts	70 %
Aucune augmentation des coûts de construction dans le cadre de projets d'infrastructure	78 %
Aucune augmentation des coûts de construction entraînant des paiements supérieurs à 25 000 \$ par année	84 %

Source: 2001 National Audit Office Report, Royaume-Uni

Source : Ce tableau a été tiré d'une présentation faite à la commission parlementaire par le Conseil Canadien des Sociétés Publiques-Privées (Conseil Canadien des Sociétés Publiques-Privées, Nov. 2004).

1.8 Conclusion

L'introduction des PPPs et leur forte utilisation va conduire inévitablement à un changement dans le rôle des gouvernements. Les nouvelles tâches des gouvernements, dans le futur, se limiteront à établir les besoins, sélectionner les partenaires, établir les contrats appropriés et laisser le partenaire privé travailler à satisfaire les exigences du secteur public et veiller à bien assurer le service demandé. Le gouvernement continuera évidemment à assurer la responsabilité du point de vue respect des clauses signées et à renforcer les règlements pour protéger l'intérêt public (Conseil Canadien des Sociétés Publiques-Privées. Mars 2005).

Dans ce chapitre, nous avons présenté le secteur public, le secteur privé, les PPPs et leurs différents modèles. Nous avons pu voir aussi que les secteurs public et privé ont beaucoup à gagner avec les PPPs, mais le revers de la médaille montre que les deux partenaires courent énormément de risques. Dans le chapitre suivant, nous allons décrire en détail la notion du risque et sa gestion avec des exemples tirés des projets PPPs.

CHAPITRE 2

GESTION DU RISQUE

2.1 Introduction

Le risque fait partie de l'ordre naturel des choses. Bien que l'activité humaine n'ait jamais cessé d'affronter le risque et ses conséquences, ce n'est que depuis quelques années que la gestion du risque est devenue une priorité dans les entreprises publiques et privées (J. Davidson Frame. 1997).

Le risque se définit, selon la Société Royale de Londres (1991), comme étant « la probabilité qu'un événement défavorable se matérialise durant une période donnée » (Akintola A. et al, 2003).

Le concept du risque varie selon le point de vue, l'attitude et l'expérience de l'organisation ou de l'individu. Les ingénieurs, concepteurs et entrepreneurs perçoivent le risque selon un aspect technologique; les emprunteurs et les développeurs l'approchent d'un point de vue économique et financier; quant aux spécialistes de la santé, et les environnementalistes, ils considèrent le risque sous ses aspects sécuritaire et environnemental (J. Davidson Frame. 1997).

Les termes « risque » et « incertitude » ont souvent été confondus. En 1980, Le Conseil Américain des Ressources en Eau (WRC – U.S. Water Resources Council) a formulé des définitions claires pour ces deux concepts fondamentaux dans la gestion des risques (Yacov Y. Haims. 2004) :

1. Le risque se définit comme une situation où les conséquences peuvent être décrites par des distributions de probabilités bien connues;
2. L'incertitude se définit comme une situation où les conséquences ne peuvent être décrites par des probabilités.

L'incertitude est, donc, le manque d'information qui empêche le gestionnaire du risque de quantifier un danger quelconque, car l'information disponible ne permet ni de mesurer ni de prédire les probabilités et les conséquences de l'évènement incertain (Bulant Gurel. 2005).

Pour mieux comprendre le risque et ses conséquences, deux mesures ont été identifiées à savoir la probabilité de l'évènement indésirable (ou la fréquence) et l'impact (ou la conséquence) de cet évènement sur un projet quelconque :

- La probabilité est définie comme étant la possibilité que le risque puisse avoir lieu. Elle est mesurée en pourcentage;
- L'impact est défini comme étant la perte majeure due au risque sur le projet. Il est généralement, exprimé en valeur monétaire.

Ces deux mesures ont été mises dans une équation mathématique permettant ainsi une quantification du risque lui-même (Jeffrey K. Pinto. 2007):

$$\text{Risque} = (\text{Probabilité de l'évènement}) * (\text{Conséquence de l'évènement}) \quad (2.1)$$

Les premières notions d'analyse et de gestion du risque sont apparues dans les compagnies d'assurance à l'aube des années 1940 (John Raftery. 1994). La gestion du risque utilisait, plutôt, une approche réactive, qui consistait à minimiser les pertes dues aux évènements fâcheux pour réduire la magnitude des réclamations faites par les assurés, au lieu de suivre une approche proactive pour prévenir les incidents (Ian T. Cameron, et al. 2005).

Le développement rapide des technologies modernes, et la complexité des systèmes ont conduit à une augmentation spectaculaire des accidents ayant causé beaucoup de dégâts matériels, économiques, humains et environnementaux telles les explosions de l'usine chimique à Flixborough en Angleterre en 1979 et des centrales nucléaires Three Mile Island

en 1979 et Chernobyl en 1986. Ces accidents majeurs, et bien d'autres ont poussé les législateurs et les principaux acteurs économiques à suivre une gestion plus rigoureuse du risque (Ian T. Cameron, et al. 2005).

Les nouvelles tendances considèrent que l'évaluation du risque et sa gestion doivent être une partie intégrante du processus décisionnel, au lieu d'être un simple complément additif dans une analyse technique. Par conséquent, la notion actuelle de gestion du risque se définit comme un ensemble d'activités logiques, systématiques et bien définies qui procure aux gestionnaires une bonne identification, mesure, quantification et évaluation du risque pour des décisions objectives et bien fondées (Yacov Y. Haims. 2004). Cette nouvelle notion de gestion systématique a conduit à l'apparition du cycle de vie du processus de gestion du risque.

2.2 Cycle de vie du processus de gestion du risque

Plusieurs modèles du processus de gestion du risque ont été définis. Les facteurs communs caractérisant ces modèles sont l'aspect itératif et les quatre étapes essentielles du processus à savoir l'identification, l'analyse, l'action et le contrôle.

Le modèle présenté dans ce chapitre a été développé par le Software Engineering Institute (Carnegie Mellon University - USA). Ce modèle se base sur les cinq étapes suivantes : L'identification, l'analyse, le plan d'action, le suivi et enfin le contrôle. La communication doit être strictement observée durant toutes les étapes du processus de gestion des risques d'un projet (Reference Document. Feb 2000).

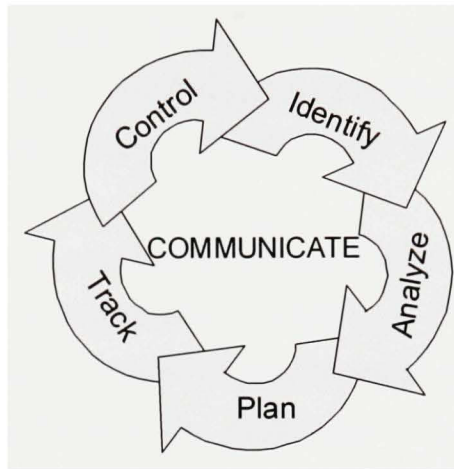


Figure 2.1 Cycle de vie du processus de gestion du risque
(Tirée du Reference Document. Feb 2000)

Source : Cette figure a été tirée du Reference Document, Software Risk Management, A Practical Guide, February, 2000. Department of Energy Quality Managers Software Quality Assurance Subcommittee, 1999.

- L'identification (Identify) qui consiste à localiser le risque avant qu'il devienne un problème pouvant nuire au déroulement des activités du projet;
- L'analyse (Analyze) qui consiste à traiter les données du risque pour aboutir à l'information aidant à la prise de décision;
- Le plan d'action (Plan) qui consiste à traduire l'information du risque en décisions (présentes ou futures) et les appliquer sur le terrain;
- Le suivi (Track) qui consiste à faire le suivi des actions prises pour écarter le risque ou réduire son effet sur le projet;
- La correction (Control) qui consiste à corriger les déviations des actions prises;
- La communication (Communicate) qui consiste à donner une bonne visibilité aux activités à risque durant toute la vie d'un projet (Reference Document. Feb 2000).

2.3 Identification des risques

Dans les projets PPPs et pour tous les participants publics ou privés, la première importance est donnée aux risques du projet et à la manière avec laquelle ils seront gérés (United Nations

Industrial Development Organization. 1996). De ce fait, la première étape dans le processus de gestion du risque consiste à identifier le risque pour pouvoir l'évaluer. Cette identification doit être faite le plus tôt possible, et de préférence au cours de l'étude de faisabilité du projet.

L'identification des risques dans certaines organisations se base sur des listes prédéfinies des risques à surveiller. D'autres organisations évitent ces listes prédéfinies et préfèrent commencer l'identification sur une feuille blanche et comparer ainsi les résultats avec leurs standards, ce qui permet de découvrir des risques que la liste prédéfinie ne montre pas. Quelle que soit la méthode utilisée, l'essentiel est de s'assurer que tous les risques sont identifiés ou d'avoir au moins la liste des risques les plus significatifs (Akintola A. et al, 2003).

Il existe plusieurs manières à travers lesquelles une organisation peut identifier les risques pouvant survenir durant le cycle de vie d'un projet. Dans ce qui suit, nous présenterons une liste, non exhaustive, des moyens utilisés pour l'identification des risques avec quelques exemples d'applications (Akintola A. et al, 2003) :

1- Identification des risques selon l'expérience personnelle ou corporative :

Dans un projet PPP, que l'organisation ou le consortium n'avait jamais entrepris auparavant, les risques y associés peuvent être très différents et très difficiles à comprendre. Même si certains ont été identifiés, il n'est pas toujours évident de savoir comment les gérer. Cependant, les expériences acquises avec le temps permettent à l'organisation d'avoir une meilleure compréhension et par conséquent une meilleure gestion des risques, en faisant appel au service du personnel expérimenté dans la compagnie. Dans le cas d'un manque d'expérience relatif à un aspect spécifique du projet, la compagnie peut faire recours à la sous-traitance. L'utilisation des données historiques (base de données) peut aussi aider à compléter l'identification et à faciliter la gestion des risques (Akintola A. et al, 2003).

2- Identification des risques du point de vue sécuritaire :

Sur le plan sécuritaire, il est plus facile de critiquer ce qui a été déjà fait que d'aller planifier ce qui va se passer dans le futur. Donc, une revue de routine des projets précédents que la compagnie a déjà achevés peut apporter beaucoup d'informations sur toutes les erreurs commises dans le passé. Cette revue critique aide la compagnie à mettre en place des standards de sécurité dans les projets en cours de réalisation, évitant ainsi les erreurs du passé. Les projets publics, dont l'information est accessible, peuvent aussi constituer une autre source d'information (Akintola A. et al, 2003).

3- Identification par intuition :

L'intuition est très importante dans l'identification des risques à long terme. Lorsqu'il n'y a aucune information qui peut prédire le risque de changement des lois sur les projets PPPs, l'intuition devient un outil d'identification des risques à long terme (Akintola A. et al, 2003).

4- Identification par le Brainstorming :

Quand les problèmes rencontrés sont mal définis, il est souvent très utile de faire recours à des réunions (sessions) de 'brainstorming'. De ce fait, les rencontres répétées des partenaires, durant les différentes phases du projet, permettent de déceler certains risques et de leur trouver les solutions adéquates (Akintola A. et al, 2003).

5- Identification des risques par des visites au site :

Dans le but d'identifier les risques, les visites des chantiers ne sont pas nouvelles pour les projets de construction. Cette fonction a été prolongée aux PPPs. Donc, visiter le site concerné permet de découvrir les risques reliés à l'environnement du projet. Par exemple, la visite du site a été utilisée pour identifier et évaluer le danger posé par l'amiante dans un projet PFI en Scotland. Ce projet consistait à construire une école

basée sur la démolition d'un ancien immeuble qui contenait de l'amiante. Même, les acquéreurs peuvent identifier les risques pouvant nuire à leurs schémas, en effectuant des visites aux sites de leurs projets (Akintola A. et al, 2003).

6- Identification des risques par l'utilisation du schéma organisationnel :

Le schéma organisationnel de la compagnie est très utile pour déterminer le personnel de qualité et les compétences de l'organisation. Dans un projet PFI, les compagnies faisant partie du même consortium peuvent coordonner leurs efforts en profitant du personnel ressource et des compétences des autres partenaires. Par exemple, le schéma organisationnel procure la facilité pour localiser et communiquer les nouvelles procédures aux nouveaux gestionnaires. En règle générale, le schéma organisationnel permet d'avoir une vue globale sur le projet et par conséquent de déceler les endroits à risques (bottlenecks) pour les projets à venir (Akintola A. et al, 2003).

7- Identification des risques par l'utilisation du diagramme de flot de données :

Le flot de données permet lui aussi de découvrir certains risques liés à l'alimentation ou l'approvisionnement. Dans les projets de construction, le flot des données est utilisé pour montrer les mouvements des matériaux de construction tels que le ciment, le sable et l'agrégat jusqu'à ce qu'ils deviennent du béton. Ce contrôle permet de détecter les machines ralentissant la production, et même de faire le suivi des membres du personnel et leurs localisations (Akintola A. et al, 2003). Le flux de données a été utilisé dans quelques compagnies de construction impliquées dans des projets PFI pour l'identification des risques. Par exemple, dans un projet au nord de Scotland, le risque posé par une usine de traitement spécifique en terme de pannes a été considéré comme risque élevé. Cet état de fait impliquait de sévères pénalités pour le PFI. Cette information a poussé le consortium à choisir un autre type d'usine. Dans ce projet, la compagnie de construction a aussi utilisé le diagramme de flot de données pour comparer la quantité estimée des eaux usées avec les spécifications des

tubes utilisés pour le drainage, ce qui a permis de redéfinir de nouvelles spécifications pour ces tubes (Akintola A. et al, 2003).

- 8- Identification des risques par l'utilisation de recherches, d'entrevues et de sondages :
 Dans certains projets, l'identification de certains risques ne peut être réalisée par des techniques prévisionnelles. Dans ces cas, il est nécessaire de faire recours à des entrevues ou des sondages, comme la planification pour de nouveaux postes d'emploi dans certains pays ou régions. C'est le cas d'une compagnie de construction qui est allée consulter les autorités locales dans le domaine pour déterminer si l'obtention de telle permission constitue un problème. Dans un autre projet de construction de route, la compagnie chargée du projet a mené un sondage auprès des associations des résidents pour découvrir leurs opinions et points de vue sur le projet lui-même, afin d'évaluer le risque relié à l'action de grève qui pourrait interrompre le déroulement du projet. Les dangers environnementaux causés par le projet peuvent aussi être évalués par les recherches et les entrevues (Akintola A. et al, 2003). Les recherches sont aussi nécessaires dans les contrats impliquant des rénovations, car les défauts latents, dans les fondations et le sol, peuvent augmenter les coûts des rénovations. Donc, avant de s'engager dans un projet quelconque, la compagnie impliquée doit mener des recherches intensives et des sondages sur la propriété pour évaluer tous les risques possibles (Akintola A. et al, 2003)..

- 9- Identification par l'analyse des suppositions :
 Quand les informations sur les exigences du client ne sont pas certaines, le recours à une série de suppositions est nécessaire. Ces suppositions doivent être continuellement observées et révisées sur la lumière des nouvelles données apparaissant dans l'environnement du projet. Par conséquent, la compagnie impliquée doit vérifier en permanence si les suppositions faites au début ne menacent pas le déroulement du projet, et ainsi prendre les actions adéquates au moment opportun (Akintola A. et al, 2003).

10- Identification par consultation d'experts :

Dans certains cas, l'expertise interne n'est pas suffisante pour prévoir tous les risques menaçant le projet, alors, la compagnie doit faire intervenir une expertise externe pour pallier le manque d'expertise (Akintola A. et al, 2003). Malgré le fait que le consortium d'un projet PFI est constitué de plusieurs organisations différentes, il arrive parfois qu'il manque d'expertise dans certains domaines. Dans ces cas, le consortium engage des firmes de consultation pour bénéficier de leurs expertises dans l'évaluation des risques et ainsi étendre sa propre expertise. Prenons à titre d'exemple le cas d'une compagnie de prévision de flux des circulations routières qui a été engagée par un consortium pour aider à l'évaluation des risques de circulation concernant un projet d'autoroute dans le nord de l'Angleterre. Donc, si un consortium souhaite évaluer le risque d'un projet avec plus de précision, il ne doit pas hésiter à engager les consultants nécessaires. En règle générale, les PFIs tendent toujours à utiliser beaucoup d'experts dans tous les domaines à savoir : finance, design, environnement, planification, etc. De telles consultations assurent l'identification des risques et leur atténuation avant le démarrage du projet (Akintola A. et al, 2003).

Une fois, le risque est identifié et bien situé dans le contexte du projet, l'étape suivante consiste à procéder à son analyse :

2.4 Analyse du risque

L'analyse du risque est une étape qui permet de mieux comprendre la nature du risque identifié dans la phase précédente (Peter W. G. Morris, et al. 2004), et de le situer dans une échelle de valeurs. Selon le Reference Document (2000), cette étape comprend deux sous étapes :

- 1- L'évaluation du risque;
- 2- La hiérarchisation du risque.

2.4.1 Évaluation du risque

L'évaluation permet de déterminer l'impact des risques sur les coûts, les échéanciers, la performance, la qualité du produit, ainsi que les probabilités correspondantes (Reference Document. Feb 2000). Le résultat de l'analyse va permettre aux gestionnaires de hiérarchiser les risques selon leurs importances (Peter W. G. Morris, et al. 2004).

Comme il a été introduit, le risque est caractérisé par deux dimensions, sa probabilité et son impact (gravité). Pour la quantification du risque, ces deux dimensions doivent être déterminées avec le plus de précision possible, comme le montre la figure 2.2 (Prasanta K. Dey, et al. 2004). La réponse au risque doit prendre en considération ces deux dimensions qui ont été introduites dans la citation suivante :

« En théorie, les pertes fréquentes et qui ont un faible impact peuvent être retenues sans compromettre la capacité financière de l'organisation. Au contraire, les pertes moins fréquentes et qui ont un impact catastrophique sont imprévisibles, dépassent souvent le budget de la firme et doivent être transférées, dans la mesure du possible, à une autre partie (Palmer et al. 1996) » (Prasanta K. Dey, et al. 2004).

Cette citation correspond particulièrement aux projets BOT, à cause de leur durée et de leur complexité. Par exemple, un changement radical de la politique économique du pays hôte est peu fréquent, mais pourrait avoir de graves conséquences sur le projet; aussi, les mauvaises conditions climatiques sont très fréquentes, mais leur impact est généralement faible. Ces deux cas de figure ne doivent pas être traités de la même manière. Certains risques à faible probabilité et qui peuvent être négligés dans les projets de construction conventionnels ne doivent cependant pas être négligés dans les projets BOT.

Dans les pays en voie de développement, les projets BOT sont souvent sujets aux risques politiques. Ces risques ont de faibles probabilités, mais coûtent trop chers au secteur privé

(figure 2.2). Donc, il est recommandé qu'ils soient retenus par les gouvernements de ces pays ou par les organisations internationales (Prasanta K. Dey, et al. 2004).

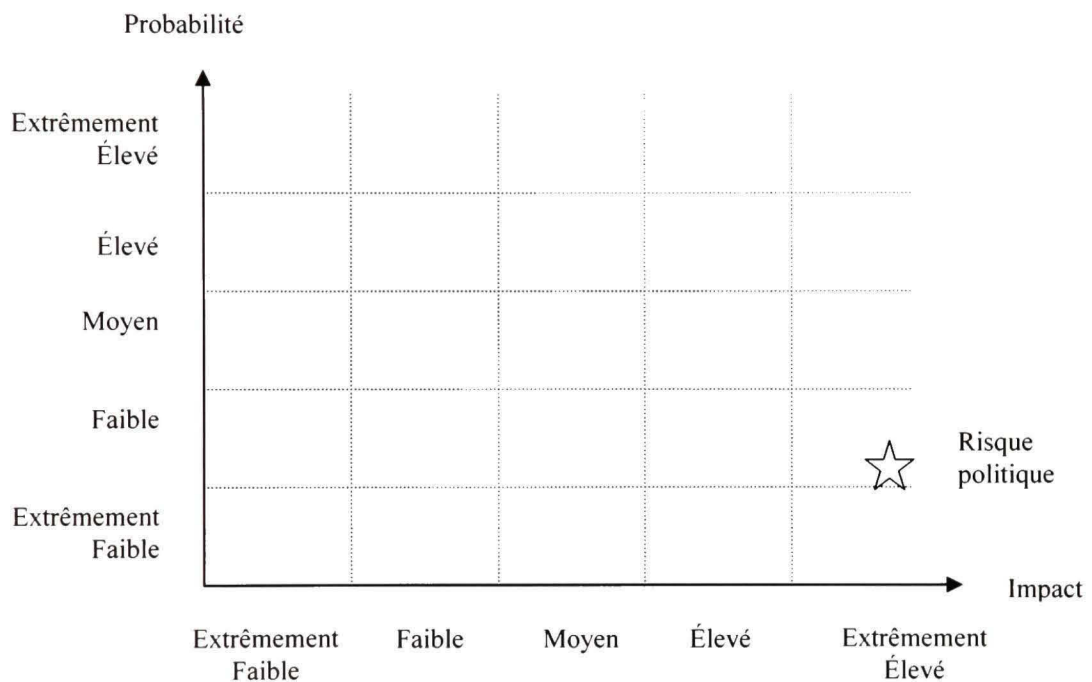


Figure 2.2 Le caractère bidimensionnel du risque
(Tirée de Prasanta K. Dey, et al. 2004)

Source : Cette figure a été tirée de Prasanta K. Dey and Stephen O. Ogunlana. 2004. Selection and application of risk management tools and techniques for build-operate-transfer projects, Industrial Management & Data Systems, Volume 104- Number 4 – 2004.

2.4.2 Différents types d'évaluation du risque

La probabilité et l'impact d'un risque peuvent être déterminés selon trois approches : qualitative, semi quantitative, et quantitative. Le choix du type d'évaluation dépend de la qualité de l'information disponible sur le risque et le temps octroyé. (Akintola A. et al, 2003) :

2.4.2.1 L'analyse Qualitative

Dans ce type d'analyse, la probabilité du risque et son impact sont calculés subjectivement. Ce mode de calcul s'applique lorsque le risque est incertain, du à l'absence d'informations. Ce type d'analyse est à la base de la compréhension de l'ensemble des risques d'un projet; elle peut être appliquée à plusieurs niveaux. Au plus simple niveau, le gestionnaire du projet peut se réunir avec tous les partenaires et discuter comment les différents risques doivent être gérés. Un niveau plus complexe peut nécessiter la formation d'un groupe attaché au gestionnaire du projet se penchant sur la gestion d'un risque en particulier (Peter W. G. Morris, et al. 2004).

2.4.2.2 L'analyse Semi-Quantitative

Lors d'une évaluation semi-quantitative, la probabilité est calculée subjectivement, mais l'impact est calculé objectivement. Ce mode de calcul s'applique lorsque l'impact du risque peut être déterminé avec exactitude alors que sa probabilité reste incertaine. Ce genre de risque concerne en général les changements dans la loi, car l'impact peut être calculé numériquement, mais la probabilité est souvent difficile à établir (Akintola A. et al, 2003).

2.4.2.3 L'analyse Quantitative

L'évaluation quantitative est basée sur le calcul de la probabilité et l'impact du risque d'une manière objective. Ce mode de calcul est utilisé quand l'information est suffisamment disponible pour pouvoir calculer, numériquement, la valeur de la probabilité et la gravité du risque (Akintola A. et al, 2003).

2.4.3 Hiérarchisation du risque

En utilisant les résultats obtenus dans l'étape de l'évaluation, les risques sont classifiés suivant des niveaux de priorité en fonction de leurs probabilités et leurs sévérités afin de pouvoir les hiérarchiser. Les gestionnaires des projets utilisent une matrice appelée Matrice de Risque (Risk Matrix - figure 2.3) pour attribuer les priorités aux différents risques (Reference Document. Feb 2000). Les risques n'ont pas tous la même importance, alors, si un risque est identifié comme étant à grande probabilité et que son impact est aussi grand, il se voit octroyer une plus grande priorité (Akintola A. et al, 2003). La figure 2.3 montre une macro hiérarchisation des risques; le risque avec cinq étoiles (*****) est considéré comme de haute priorité avec une grande probabilité et un grand impact (Akintola A. et al, 2003). À la fin de cette étape, une liste de risques classés par ordre d'importance est établie pour être utilisée comme une base pour l'étape à venir. Cette dernière doit déterminer une réponse adéquate à chaque risque.

Probabilité	Élevé	**	****	*****
	Moyen	**	***	****
	Faible	*	**	***
		Faible	Moyen	Élevé
		Impact		

Figure 2.3 Hiérarchisation du risque
(Tirée de Akintola A. et al, 2003).

Source : Cette figure a été tirée de Akintola Akintoye, Matthias Beck et Cliff Hardcastle 2003. Public-Private Partnerships Managing risk and opportunities, School of the built and natural environment, Glasgow Caledonian University. p. 106.

2.5 Stratégies de réduction du risque (Plan d'action)

Après avoir bien identifié et hiérarchisé les risques, vient l'étape de la réponse aux risques. Plusieurs stratégies de réponses aux risques ont été développées à savoir : la rétention du risque, la minimisation du risque, le partage du risque, et le transfert du risque (Jeffrey K. Pinto. 2007).

2.5.1 Rétention du risque

Les risques ayant un impact mineur existent toujours dans les projets. Ces risques peuvent être ignorés ou acceptés (retenus) à cause de leurs faibles impact et probabilité. La décision d'accepter un risque doit être basée sur des calculs raisonnables et non sur le résultat d'inattentions ou d'incompétences (Jeffrey K. Pinto. 2007).

2.5.2 Minimisation du risque

Si le risque n'est pas acceptable, la stratégie suivante consiste à essayer de le minimiser. Par exemple, durant le développement du modèle 777 de Boeing, la compagnie ne tolérait pas le risque d'avoir des pièces mal conçues, car le résultat est toujours catastrophique. Pour la sélection de ses fournisseurs et la minimisation du risque, Boeing exige que tous ses fournisseurs gardent un contact direct et permanent avec son groupe d'assurance qualité. Aussi, pour les nouveaux fournisseurs, Boeing insiste sur le droit d'intervenir dans le processus de production du fournisseur pour s'assurer que la qualité du produit soit conforme à ses propres standards (Jeffrey K. Pinto. 2007). Dans les projets PPPs, une étude a démontré que les pratiques de minimisation des risques chez les fournisseurs de fonds (banques et institution financière) se basent sur la réduction des risques importants dans les contrats avant même le début du projet (Akintola A. et al, 2003).

2.5.3 Partage du risque (Allocation)

Le risque peut être alloué d'une manière proportionnelle entre les partenaires du projet (Jeffrey K. Pinto. 2007). En Colombie-Britannique, lors du projet du centre académique des soins ambulatoires (AACC - Academic Ambulatory Care Center), le secteur public et le secteur privé représenté par la AVH (Access Health Vancouver) se sont entendus sur une allocation proportionnelle du risque durant la phase d'exploitation de telle sorte que la AVH absorbe 60% de l'augmentation du coût de maintenance prévu après la troisième année (Vancouver Coastal Health. 2004).

2.5.4 Transfert du risque

Dans certaines circonstances, il est impossible de réduire le risque, alors il est préférable de le transférer à une autre partie dans le projet PPP. En général, les risques sont transférés dans les contrats des projets. Toutefois, dans l'optique de transférer le risque à une autre partie, les institutions financières transfèrent les risques de construction aux compagnies de construction, les risques d'exploitation aux compagnies d'exploitation et les risques politiques et législatifs au secteur public (Akintola A. et al, 2003).

2.6 Suivi et contrôle du risque

Cette étape consiste à faire le suivi des actions prises pour réduire le risque et à faire le contrôle nécessaire pour corriger les déviations des actions par rapport à la planification prévue (Reference Document. Feb 2000). Les actions prises doivent être documentées et reportées dans des documents pour de futures utilisations.

2.7 Communication du risque

La communication se trouve au centre du modèle (figure 2.1), pour faire apparaître son importance dans le processus de gestion du risque. Ce qui signifie que la communication doit

être présente dans toutes les fonctions du modèle. Les personnes impliquées dans le projet sont les plus concernées à travailler ensemble sur les risques selon une base régulière. Une communication effective au sein du groupe assure une bonne visibilité et une bonne réaction (feedback) aux événements internes et externes (Reference Document. Feb 2000).

2.8 Documentation du risque

La documentation des risques, appelée parfois registre des risques, est un document que l'organisation maintient sous forme de tableaux montrant l'historique des risques d'un ou de plusieurs projets avec les différents impacts et probabilités, ce registre servira de référentiel pour les nouveaux projets (Peter W. G. Morris, et al. 2004). À titre d'exemple, l'armée Américaine a investi un grand budget pour la création d'une base de données sur les facteurs à risque relatif aux projets et sur les stratégies de réduction pour l'entraînement de ses nouveaux officiers (Jeffrey K. Pinto. 2007).

A Risk Note Pad

Risk Reference No:.....

Brief Title

Champion

	High			
Probability of	Medium			
Occurrence	Low			
		Low	Medium	High
		Impact/Cost		

Concise definition of risk identified
.....

Subsidiary risks
.....
.....

Linkage to other risks
.....
.....

Management of risk (Statement)
.....
.....

Mitigation of risk (Statement)
.....
.....

Cost estimate (Details)
.....
..... (£.....)

Ownership of risk: Client Provider

Shared (define relationship)

Figure 2.4 Exemple de documentation du risque
(Tirée de Akintola A. et al, 2003)

Source : Cette figure a été tirée de Akintola Akintoye, Matthias Beck et Cliff Hardcastle. 2003. Public-Private Partnerships Managing risk and opportunities, School of the built and natural environment, Glasgow Caledonian University. p. 119.

Tableau 2.1

Exemple de registre des risques
(Tiré de Peter W. G. Morris, et al. 2004)

ID	Description du Risque	Propriétaire	Etat Courant	Probabilité très élevé 0.9 très bas 0.1	Impact très élevé 0.8 très bas 0.05	Facteur Risque (Prob x Imp)	Réponse
100	Influence Tierce						
110	Révisions au plan, permission peut être exigée	Architecte	D	0.7	0.05	0.035	Discussions avec les responsables du planning
120	Endroits chauds contaminés, peuvent être enlevés du site	Ingénieur Génie Civile	A	0.5	0.1	0.05	Discussions avec l'agence de l'environnement
130	Recommandations de l'officier pompier non encore réalisées	Groupe Concepteur	A	0.7	0.1	0.07	Discussions avec l'officier des pompiers
200	Influence du Client						
205	Processus de décision prolongé - Client peut ne pas être d'accord avec le design réel et programmé	Gestionnaire du Project	M				Pas encore de réponse
300	Groupe Concepteur						
310	Les désignations des consultants peuvent mal définir les responsabilités	Groupe du Project	D	0.1	0.05	0.005	Revoir les accords avec les consultants
320	Inconnus structuraux : composition de la construction existante (murs, toit)	Groupe Concepteur	M				Pas encore de réponse
325	L'énergie électrique existante peut être insuffisante.	Groupe Concepteur	M				Pas encore de réponse

Légende : D=Done A=Active M=Monitor

Source : Ce tableau a été tiré de Peter W. G. Morris, Jeffrey K. Pinto. 2004. The wiley guide to managing projects. Edition John Wiley & Sons Inc. p. 38.

2.9 Classification des risques dans les PPPs

Il est difficile d'avoir des caractéristiques générales des risques dans les projets PPPs. En fait, chaque projet PPP possède son propre modèle de risque, et ce, pour chaque pays et chaque secteur (United Nations Industrial Development Organization. 1996). Selon (Prasanta K. Dey, et al. 2004) les risques dans les PPPs peuvent être catégorisés en :

- Risques politiques;
- Risques relatifs à la phase de construction et d'achèvement;
- Risques relatifs à la phase d'exploitation;
- Risques relatifs au financement;
- Risques légaux.

Plusieurs classifications de risques ont été proposées. La suivante classifie les risques selon les différentes phases d'un projet PPP (Prasanta K. Dey, et al. 2004) :

1. Phase de construction : les risques qui peuvent être rencontrés dans cette phase sont le délai d'achèvement, le dépassement des coûts, les forces majeures, les risques politiques, les risques d'infrastructure, etc.
2. Phase d'exploitation : les risques probables dans cette phase sont l'approvisionnement en matière première, le marché, les risques techniques et de performance, les risques d'opérations et de maintenance, les risques des devises étrangères, et autres dépenses.
3. Phase de développement : dans cette catégorie, on trouve les risques technologiques, les risques relatifs aux crédits, et les risques des soumissions.

Mais selon (Beidleman et al. 1990) dans (Prasanta K. Dey, et al. 2004), les risques ont été catégorisés en risques globaux et risques élémentaires :

- Les risques globaux sont d'ordre :
 - Politiques : tels que les risques gouvernementaux et les risques technologiques;
 - Légaux : tels que ceux dus aux types de contrat d'arrangement;
 - Commerciaux : tels que les risques relatifs au marché, aux entrées, et aux devises;
 - Environnementaux : tels que les risques écologiques, et l'impact du projet sur l'environnement.
- Les risques élémentaires sont :
 - Techniques : tels que ceux relatifs aux conditions physiques, à la construction, au design, à la technologie, etc.;
 - Opératoires : tels que les risques dus à l'exploitation, à la maintenance, à la formation, etc.;
 - Financiers : tels que ceux dus à la forme de financement, à l'évaluation, à la propriété, aux retours, aux devises, etc.;
 - De revenus : comme les risques relatifs à la demande, au développement, aux tarifs, etc.

Selon le Guide des Nations Unies pour le Développement des Infrastructures en mode PPP, les risques sont catégorisés en risques généraux et risques spécifiques:

- Les risques généraux : Appelés aussi les risques du pays, ces risques sont associés avec l'environnement politique, économique, et légal du pays hôte, et sur lesquels le secteur privé n'a pas beaucoup de contrôle;
- Les risques spécifiques : sont les risques qui sont sous le contrôle du secteur privé.

Li Bing (2005) a regroupé les risques en trois grandes catégories qui sont les risques de niveau macro, les risques de niveau méso, et les risques de niveau micro :

- Les risques de niveau macro comprennent les risques externes au projet et qui touchent le niveau national, industriel et même naturel, tels que : les risques politiques et gouvernementaux, les risques macroéconomiques, les risques légaux, les risques sociaux et enfin les risques naturels. Ces risques sont tous externes au projet, mais touchent grandement le projet et ses revenus;
- Les risques de niveau méso comprennent les risques internes au projet, tels que : les risques associés à la demande ou à l'utilisation du service, les risques de conception, les risques de construction et les risques technologiques;
- Les risques de niveau micro représentent les risques relationnels entre les principaux partenaires privés d'un projet PPP tels que les risques d'ordre organisationnel, les risques de responsabilisation inadéquate, les risques de manque d'expérience, les risques du manque d'engagement, etc. Ces risques sont aussi internes au projet, mais différent de ceux du niveau méso car ils sont reliés aux partenaires plutôt qu'au projet lui-même.

Plusieurs autres classifications ont été formulées en rapport avec l'aspect statique et dynamique du risque ou selon l'origine du risque, car certains risques trouvent leurs sources dans le secteur privé alors que d'autres sont issus du secteur public. Toutes ces différentes classifications sont utilisées dans le but de simplifier le traitement des risques.

Le tableau 2.2 tiré de (E.R. Yescombe 2007) contient une liste des risques dans les PPPs classés par phase de projet.

Tableau 2.2

Liste des risques dans les PPPs
(Tiré de E.R. Yescombe 2007)

Phase du Risque	Catégorie du Risque	Nature du Risque
Général	Politique	Opposition politique au projet
		Changement des lois
	Économique	Taux d'intérêt
		Inflation
Construction	Site	Acquisition du site
		Condition du sol
		Permis
		Permis de l'environnement et les risques
		Archéologie et les fossiles
		Droit d'accès et facilité
		Connexion au site
		Contestataire
		Disposition de surplus de terrain
	Construction	Sous-contrat de construction
		Sous-traitant de construction
		Ajustement de prix
		Changements faits par les autorités publiques
		Les risques dus aux Sous-traitants
		Revenu durant la construction
	Achèvement	Retard causé par les Sous-traitants de construction
		Autres causes de retard
		Conception
		Performance
Exploitation	Exploitation	Les risques de l'utilisation et de la demande
		Réseau
		Paieement des revenus
		Disponibilité et service
		Dépenses des opérations - Opex
		Maintenance
	Fin	Défaut du à la compagnie du projet
		Fin demandée par les autorités publiques
		Force majeure
		Valeurs résiduelles

Source : Ce tableau a été tiré de E.R. Yescombe. 2007. Public-Private Partnerships: Principles of Policy and Finance. Published by Butterworth-Heinemann / Elsevier, p. 246.

2.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté plus ou moins en détail le risque, la notion de gestion systématique du risque et ses étapes essentielles à savoir : l'identification, l'évaluation, la hiérarchisation, le plan d'action visant à réduire le risque, le suivi des actions prises, et enfin la communication. Nous avons aussi présenté l'importance de la documentation et son rôle dans l'enrichissement de l'expertise de l'organisation dans la gestion des risques. Enfin, la classification des risques selon différents points de vue a aussi été présentée. Cela permet au gestionnaire de voir le risque sous plusieurs aspects, ce qui permettra une meilleure compréhension du risque lui-même et de sa portée.

Dans les chapitres ultérieurs, nous allons aborder les différents types et méthodologies d'analyse des risques. L'analyse qualitative et ses méthodes dites subjectives ainsi que l'analyse quantitative avec ses méthodes dites objectives y seront présentées en détail.

CHAPITRE 3

ANALYSE QUALITATIVE

3.1 Introduction

L'analyse qualitative se situe juste après l'étape d'identification du risque dans le processus de gestion du risque. Cette étape constitue la base de toutes les autres étapes de l'analyse du risque, y compris l'analyse quantitative. La quantité d'informations et le temps disponible déterminent le type d'analyse à utiliser. Cette analyse est utile lorsque l'information sur les risques est incertaine et/ou incomplète. L'évaluation dans ce cas est dite subjective. (Akintola A. et al, 2003).

3.2 Matrice de probabilité versus impact du risque

Quel que soit le niveau auquel l'analyse doit être appliquée, il existe plusieurs techniques nécessaires pour évaluer, d'une manière subjective, la probabilité et l'impact du risque à savoir (Peter W. G. Morris, et al. 2004) :

- Pour chaque risque identifié, sa probabilité et son impact doivent être déterminés en présence des actionnaires clés. Les différentes valeurs peuvent être organisées dans une matrice pour une meilleure analyse;
- L'utilisation du registre des risques qui est un document que l'organisation maintient sous forme de tableaux montrant l'historique des risques d'un ou plusieurs projets avec les différents probabilités et impacts. Ce document peut servir comme un référentiel pour les nouveaux projets. À partir de l'historique des projets (registre des risques), le gestionnaire du projet peut construire un tableau montrant la probabilité du risque et son impact sur le projet avec les partenaires clés, comme le montre le tableau 3.1.

Tableau 3.1

Détermination des probabilités et impacts des risques (Registre des risques)
(Tiré de Peter W. G. Morris, et al. 2004).

	Probabilité	Impact	
		Coût	Temps
Très Élevé	70% - 95%	> 50%	> 50%
Élevé	50% - 70%	20-50%	20-50%
Moyen	30% - 50%	10-20%	10-20%
Bas	10% - 30%	5-10%	5-10%
Très Bas	05% - 10%	< 5%	< 5%

Source : Ce tableau a été tiré de Peter W. G. Morris, Jeffrey K. Pinto. 2004. The wiley guide to managing projects. Edition John Wiley & Sons Inc. p. 39.

Une fois, le risque est échelonné selon sa probabilité et son impact, d'une manière globale, un niveau plus détaillé (sophistiqué) de la matrice Probabilité-Impact peut être obtenu en donnant des valeurs possibles à la probabilité et à l'impact. De cette façon, l'importance relative de chaque cellule peut être vue dans la matrice, comme le montre le tableau 3.1 (Peter W. G. Morris, et al. 2004).

3.3 Exposition au risque

Appelé aussi facteur de risque, l'exposition au risque a été définie par Boehm en 1989 et Barki et al. en 1993 comme étant (Simon Bourdeau, et al. 2003) :

$$Exposition\ au\ Risque = \sum_{i=1}^n P(RI_i) * A(RI_i) \quad (3.1)$$

Où $P(RI_i)$ est la probabilité d'un résultat indésirable i , et $A(RI_i)$ est l'ampleur (impact) de la perte due au résultat indésirable. Le facteur, ainsi obtenu, donne une information plus significative sur l'importance du risque.

Le tableau 3.2 tiré de (Peter W. G. Morris, et al. 2004) montre une matrice « Probabilité-Impact » plus détaillée des risques d'un projet conçu à partir d'un registre de risques. Les facteurs présents dans chaque case donnent une information plus précise sur le risque et son importance. Par exemple, les cases colorées en rouge indiquent que les risques dans cette zone doivent être suivis avec beaucoup plus de rigueur par le gestionnaire du projet.

Tableau 3.2

Matrice de probabilité versus impact
(Tiré de Peter W. G. Morris, et al. 2004)

Probabilité	Très Élevé 0.9	0.045	0.09	0.18	0.36	0.72
	Élevé 0.7	0.035	0.07	0.14	0.28	0.56
	Moyen 0.5	0.025	0.05	0.10	0.20	0.40
	Bas 0.3	0.015	0.03	0.06	0.12	0.24
	Très Bas 0.1	0.005	0.01	0.02	0.04	0.08
		0.05	0.1	0.2	0.4	0.8
		Très Bas	Bas	Moyen	Élevé	Très Élevé
		Impact				

Légende

Risque Élevé	> 0.20	Revoir le risque en détail. Modifier la stratégie du projet pour réduire
Risque Moyen	0.08 - 0.20	Développer des plans d'urgence. Contrôler le développement du risque
Risque Bas	< 0.08	Maintenir le registre des risques. Prévoir les mesures d'urgence.

Source : Ce tableau a été tiré de Peter W. G. Morris, Jeffrey K. Pinto. 2004. The wiley guide to managing projects. Edition John Wiley & Sons Inc. p. 40.

Le risque est exprimé par sa valeur monétaire, qui détermine son importance et sa hiérarchisation. De cette manière, les risques classés comme étant les plus sévères sont suivis tout au long du projet.

3.4 Synthèse des risques (effet cumulatif)

Une fois tous les risques ont été évalués, leur effet cumulatif doit être évalué à son tour pour prédire le résultat global. Donc, il important de ne pas considérer les risques individuellement, mais prendre en compte leurs effets cumulés (Peter W. G. Morris, et al. 2004).

Le résultat de l'évaluation d'un risque quelconque doit faire l'objet d'une autre identification, car dans certains cas la réduction d'un risque peut donner naissance à d'autres risques secondaires qui doivent, eux aussi, passer par le processus itératif (identification-évaluation-réduction) (Akintola A. et al, 2003).

La matrice Probabilité/Impact permet de distinguer les risques qui nécessitent plus de détail (High) de ceux qui nécessitent moins de détail (Low). De ce fait, les risques qui nécessitent plus de détail peuvent faire l'objet d'une analyse quantitative.

Plusieurs méthodologies ont été développées pour faire l'analyse qualitative, à savoir :

- Méthode des Systèmes Mous (MSM),
- Diagramme d'influence,
- Méthode Delphi,
- Analyse Préliminaire,
- Analyse HAZOP,
- Analyse Cause/Conséquence,
- Méthode des ensembles flous (Fuzzy Sets).

3.5 Méthode des Systèmes Mous (SSM)

La méthode des systèmes mous ou SSM (Soft System Methodology) a été développée par Peter Checkland à l'Université de Lancaster dans les années 1970-1980. Son but est de pallier les problèmes des théories de décision traditionnelles, en résolvant la majorité des problèmes structurés. Les problèmes structurés sont ceux qui ne font pas introduire l'incertitude et les considérations sociales (N.J. Smith, et al, 1999). Cette méthode consiste en un cycle de sept étapes (figure 3.1).

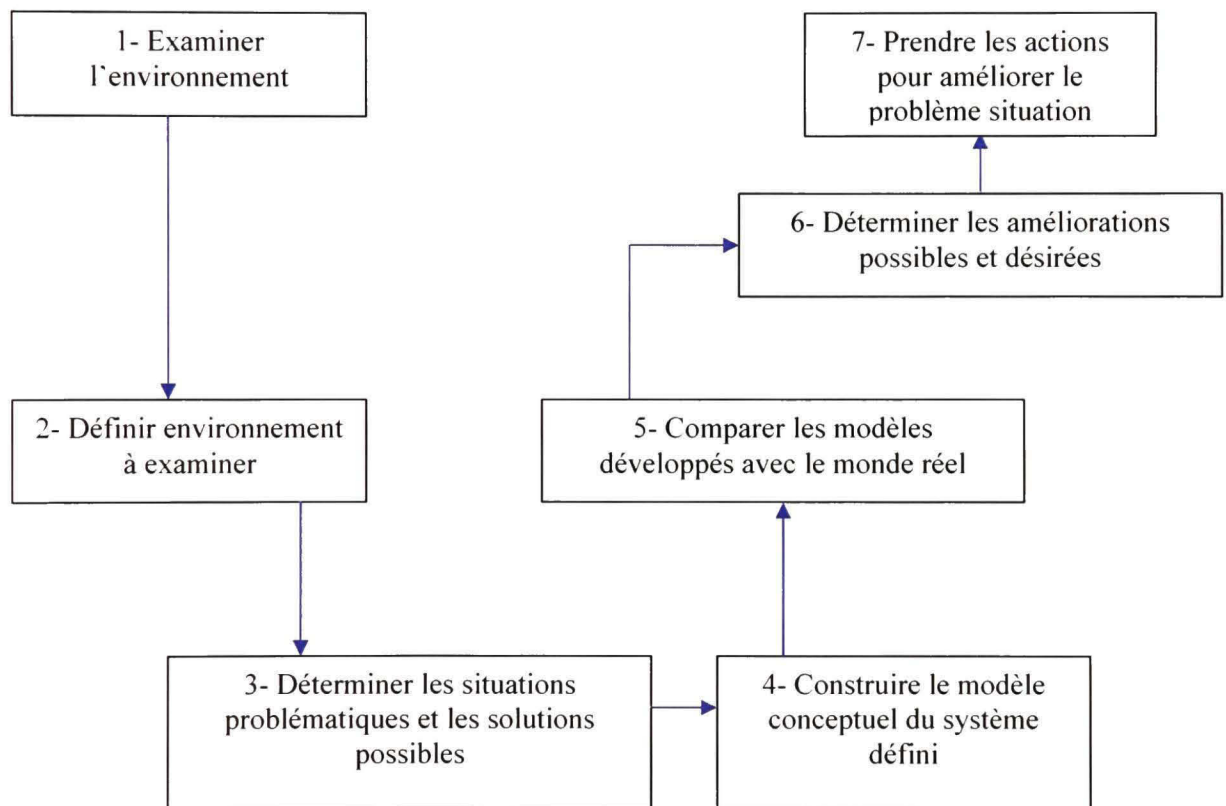


Figure 3.1 Le cycle d'apprentissage de la MSM (SSM)
(Tirée de N.J. Smith, et al, 1999)

Source : Cette figure a été tirée de N.J. Smith, Tony Merna et Paul Jobling. 1999. Managing Risk in Construction Projects. Edition Blackwell Science, p. 61.

- Les deux premières étapes concernent l'identification des situations problématiques (l'environnement et la culture où le problème apparaît).
- La troisième étape s'intéresse au problème lui-même, les raisons pour lesquelles la situation est considérée problématique, et les améliorations qui peuvent être apportées.
- La quatrième étape concerne le développement des modèles conceptuels découlant de l'étape précédente. Elle représente une vue plus détaillée des problèmes identifiés dans l'étape précédente. Les modèles développés doivent s'adapter aux changements provoqués par différents problèmes.
- La cinquième étape consiste à comparer les modèles développés au monde réel. Cette comparaison est primordiale vu qu'elle ouvre le débat sur la manière d'atteindre les objectifs escomptés, et ce, en se basant sur les hypothèses formulées et les solutions alternatives. Cette étape permet aussi de revoir plusieurs aspects relatifs aux activités entreprises.
- L'étape finale consiste à implanter les changements proposés. Selon le besoin, d'autres cycles peuvent être appliqués en vue d'améliorations additionnelles (N.J. Smith, et al, 1999).

Cette méthode a été appliquée dans les projets de construction en Grande-Bretagne (UK), mais son introduction dans les PPPs n'a jamais été évoquée par les chercheurs.

3.6 Diagramme d'influence

Le diagramme d'influence est une méthode nouvellement introduite dans l'évaluation des risques. Elle est très intuitive, car elle permet, aussi bien à l'ingénieur qu'au gestionnaire de représenter les relations de cause à effet dans un système comprenant un grand nombre de variables (Yacov Y. Haims. 2004) (N.J. Smith, et al, 1999).

Le diagramme d'influence est constitué d'une série de nœuds connectés par des flèches. Les nœuds représentent les variables dans les situations problématiques, et les flèches font référence à l'influence existante entre ces variables. La figure 3.2 montre l'influence des différents coûts sur les dépenses des équipements. Pour utiliser cette technique, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance des risques et de leurs importances (T.S. Chee et al. 1995).

L'importance du diagramme réside dans le fait que la relation entre les sources du risque et les activités sont perceptibles immédiatement, ce qui permet une résolution effective et directe des risques.

Cette technique est très utile et relativement moins exigeante en matière de temps et de ressources. Elle est considérée comme une **technique subjective**. Cependant, si le projet est divisé en plusieurs sections le diagramme devient rapidement ambigu. (N.J. Smith, et al, 1999).

Le diagramme serait mieux construit s'il fait l'objet de sessions regroupant tous les acteurs du projet. Il commence par un schéma général qui devient de plus en plus détaillé et cohérent avec le temps.

Cette méthode a été utilisée dans plusieurs projets PPPs à travers le monde (Voir annexe 1).

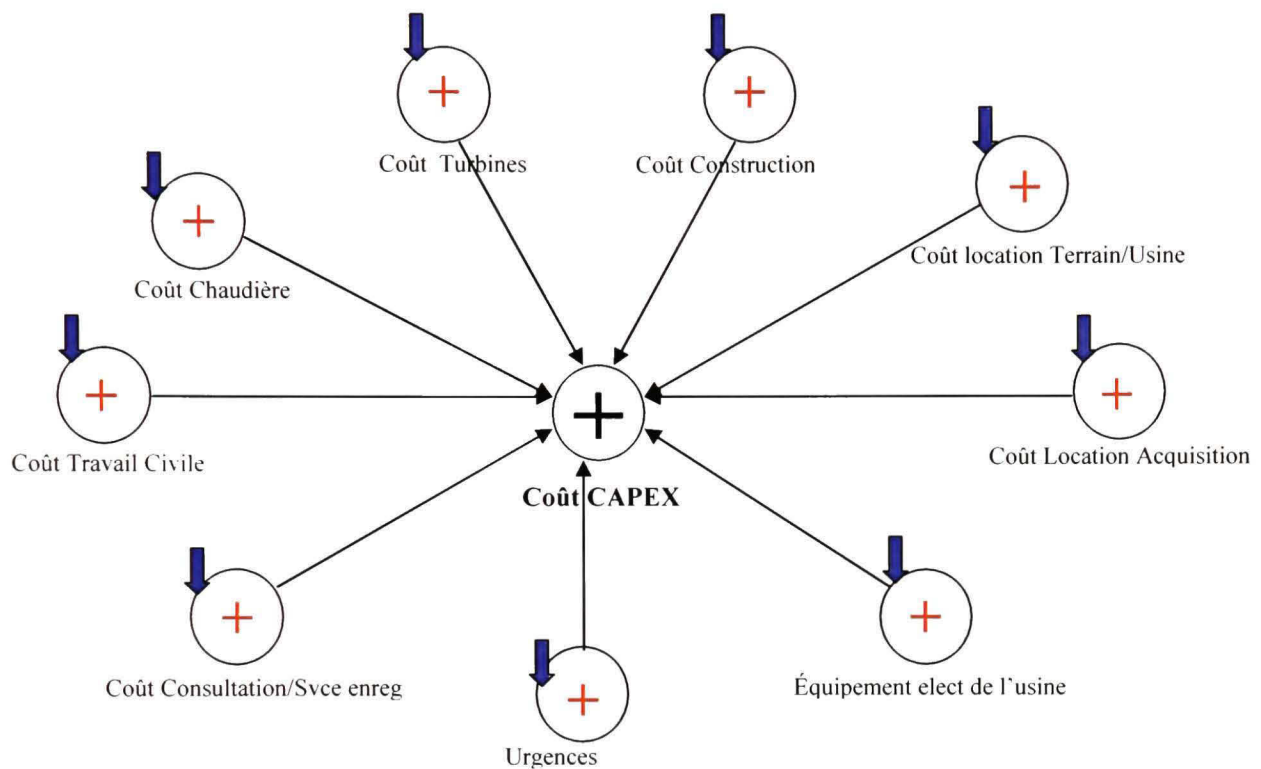


Figure 3.2 Diagramme d'influence des dépenses d'équipement
(Tirée de T.S. Chee et al. 1995)

Source : Cette figure a été tirée de T.S. Chee and K.T. Yeo. 1995. Risk Analysis of a Build-Operate-Transfer (B.O.T) Power Plant Project. Centre for Engineering & Technology Management. Nanyang Technological University – Singapore. IEEE 1995.

3.7 Méthode Delphi

Cette technique se base sur l'obtention d'une estimation approuvée par plusieurs experts. La méthode repose sur le principe suivant : l'évaluation des risques doit être faite par chacun des experts. Cette évaluation peut être faite en se basant sur la probabilité et/ou sur la sévérité de l'impact. Les experts seront informés par la suite de tous les résultats des évaluations et seront appelés à donner leurs versions révisées. Cette opération constitue un processus continu jusqu'à ce qu'un consensus soit obtenu. Cette méthode peut être considérée comme étant qualitative ou quantitative (si des estimations quantitatives ont été faites sur les différentes variables).

Une version adaptée de cette méthode commence par la formation d'un groupe d'experts multidisciplinaires pour couvrir tous les aspects du projet. Les experts se réunissent, identifient les risques et donnent leurs opinions sur les différentes probabilités et impacts des risques. Il est à noter que les résultats peuvent être faussés si les experts réunis ne sont pas multidisciplinaires. La méthode Delphi adaptée est une méthode coûteuse en temps et en ressources requises.

Dans la méthode Delphi classique, il n'est pas nécessaire de réunir tous les experts, ce qui permet une consultation plus large (grand nombre d'experts consultés). Mais pour aboutir à un consensus final, l'approche classique s'avère plus coûteuse en temps.

Cette méthode est très subjective, elle peut être utilisée quand il n'y a pas assez d'informations disponibles, ou si l'organisation (compagnie) possède peu d'expérience dans des projets similaires. Il est à noter que cette méthode est déconseillée pour les projets ayant un court délai (N.J. Smith, et al, 1999).

Pour les projets PPPs, cette méthode a été évoquée dans plusieurs cas à travers le monde (Voir annexe 1).

3.8 Analyse Préliminaire

L'analyse préliminaire des risques, appelée en anglais PRA pour Preliminary Risk Analysis ou PHA pour Preliminary Hazard Analysis, est une méthode qualitative qui consiste à analyser la séquence des événements qui peuvent transformer un hasard potentiel en accident. Dans cette technique, les événements indésirables sont identifiés et analysés séparément. Pour chaque événement indésirable, des améliorations, ou des mesures préventives sont formulées (Tan Hiap Keong. 1997).

En résumé, la méthode consiste à (Réza Moghadas. 2001) :

- Identifier les éléments à risque en utilisant une liste de vérification (checklist);
- Identifier les événements qui peuvent causer un problème aux éléments;
- Faire l'évaluation de chaque risque, à partir des données historiques, à l'aide d'un diagramme de fréquence/conséquence afin de pouvoir le hiérarchiser;
- Définir les mesures préventives afin de pouvoir détecter, maîtriser et même éliminer les situations dangereuses.

Quoique cette méthode soit très répandue dans l'analyse de sécurité dans les usines et les ports (offshore), il semble qu'elle n'est pas adaptée à l'analyse des risques dans les projets PPPs car aucune recherche n'a été faite sur la méthode dans le contexte de ces projets.

3.9 Analyse HAZOP

Le mot HAZOP est l'acronyme de Hazard and Operability studies. Cette méthode purement qualitative a été développée dans les années 1970 en Angleterre par l'Association des Industries Chimiques (Imperial Chemical Industries Ltd). La méthode peut être définie comme l'application formelle d'un examen critique pour détecter les écarts par rapport à la conception d'origine, et en déterminer les causes et les conséquences. La méthode HAZOP permet d'améliorer le processus lui-même, indépendamment des risques. Elle utilise des mots guides comme « **ne pas faire** », « **plus** », « **moins** », etc. À partir de ces mots guides, les scénarios qui peuvent résulter d'un hasard ou d'un problème potentiel sont identifiés. Comme pour des problèmes de flux sur une ligne d'un processus, le mot « **plus** » va correspondre à un débit élevé, tandis que le mot « **moins** » va correspondre à un débit faible. La méthode se base essentiellement sur :

- la qualité de l'information;
- les compétences techniques de l'équipe chargée de prévoir le risque.

Cette méthode est très utilisée dans l'industrie chimique, pétrochimique et pharmaceutique. Quoique cette méthode soit qualitative, son application ou adaptation aux PPPs n'a jamais été évoquée par les chercheurs (Hélène Denis. 1998) (Tan Hiap Keong. 1997).

3.10 Analyse Cause/Conséquence (ACC)

Connue sous le nom CCA (Cause-Consequence Analysis), cette méthode est une combinaison de deux méthodes à savoir :

- L'arbre de défaillance qui est l'analyse des causes;
- L'arbre d'évènement qui est l'analyse des événements.

Le but de la méthode est de déterminer les séquences d'évènements qui produisent les conséquences indésirables. Avec les probabilités du diagramme ACC, les différentes probabilités des conséquences sont calculées, permettant ainsi la détermination du niveau du risque du système. Cette méthode a été inventée par les laboratoires RISO au Danemark pour être utilisée dans les centrales nucléaires, et son application dans les projets PPPs a déjà fait l'objet de recherche (Voir annexe 1). La figure 3.3 montre un exemple de l'arbre ACC (Tan Hiap Keong. 1997).

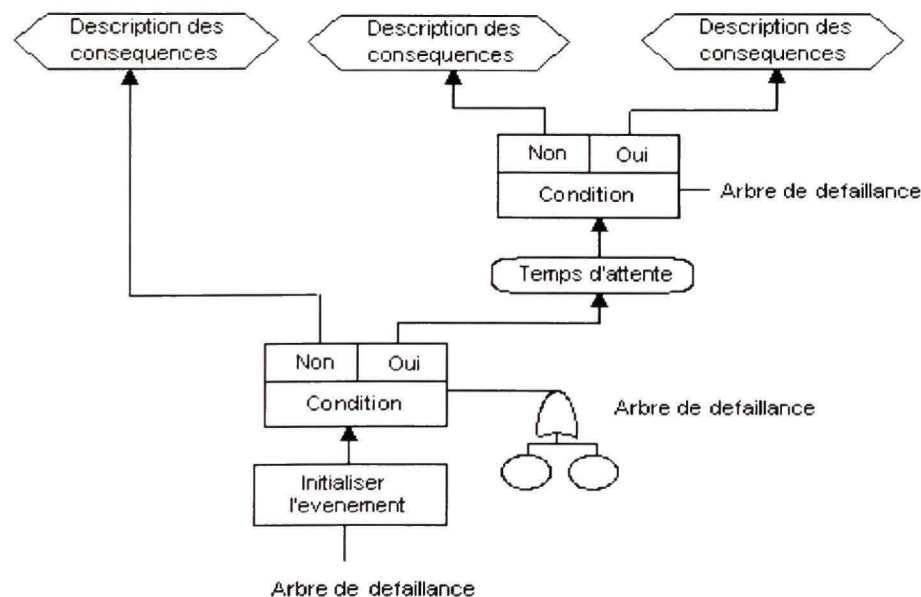


Figure 3.3 Diagramme d'analyse ACC
(Tirée de Tan Hiap Keong. 1997)

Source : Cette figure a été tirée de Tan Hiap Keong. 1997 Tan Hiap Keong. 1997. Risk Analysis Methodologies. National University of Singapore. En Ligne.
<<http://home.pacific.net.sg/~thk/risk.html>>.

3.11 Méthode des ensembles flous (Fuzzy Sets)

Le concept des ensembles flous a été introduit par Zadeh en 1965. Les ensembles flous sont une extension de la logique binaire, ils sont utiles lorsqu'il s'agit d'ensembles ayant une définition subjective et imprécise. Dans les ensembles flous, on ne parle plus de l'appartenance d'un élément à un ensemble, mais plutôt de son degré d'appartenance à cet ensemble. Toutes les opérations ensemblistes se définissent à travers des fonctions caractéristiques. Les ensembles flous permettent d'exprimer mathématiquement les informations vagues et imprécises. Les mots tels que « **rapide** », « **lent** », « **très rapide** », « **très lent** », « **pas très rapide** » sont utilisés pour exprimer des états continus et se chevauchant d'un système quelconque. Ceci permet au raisonnement incertain d'être exprimé par l'intermédiaire de règles qui donnent des modèles beaucoup plus intuitifs avec des comportements meilleurs. Selon Zadeh, la description linguistique du système est beaucoup plus efficace que son modèle mathématique. Contrairement aux ensembles logiques ordinaires, un élément dans les ensembles flous peut appartenir à plus d'un ensemble. Cette méthode a même été utilisée dans les systèmes experts. L'avantage des systèmes experts basés sur les ensembles flous par rapport à ceux basés sur la logique ordinaire, est que les premiers (basés sur les ensembles flous) nécessitent moins de règles, moins de variables, utilisent des descriptions linguistiques, en langage naturel, plutôt que des descriptions mathématiques et peuvent reproduire les sorties à partir des entrées pour n'importe quel système sans avoir à comprendre le fonctionnement exact du système (Daniel Baloi, et al. 2003) (Journal de l'Association des mathématiciens. Oct 2001) (Logic Programming Associates Ltd. 1980).

Dans la gestion des risques, les ensembles flous sont surtout introduits pour exprimer la complexité de l'incertain et le raisonnement approximatif qui gouvernent la gestion des risques. Le principe de la méthode est :

1. Déterminer les facteurs à risque;

2. Définir les différentes variables linguistiques, qui décrivent les facteurs à risques associés au système (projet) selon les experts du domaine;
3. Définir les fonctions caractéristiques pour chaque variable (facteur);
4. Construire une base de connaissances pour le système (projet).

Tous ces paramètres peuvent être déterminés par des entrevues, des questionnaires et à partir des bases historiques des systèmes similaires. Le système d'aide à la décision obtenu peut utiliser des règles telles que :

Si l'entrepreneur A est expérimenté

Alors

La performance est bonne

SI l'inflation est moyenne **ET** le taux de change est moyen

Alors

Le risque économique est moyen;

Cette méthode a fait l'objet de plusieurs recherches pour évaluer les risques dans les projets PPPs (Voir annexe 1).

3.12 Conclusion

Les méthodes qualitatives permettent de situer les risques propres à un projet et de bien comprendre leurs gravités. Les méthodes présentées dans ce chapitre n'ont pas toutes été appliquées aux projets PPPs. Toutefois, ces méthodes sont nécessaires pour une première évaluation des risques, mais elles restent insuffisantes pour déterminer tous les coûts et impacts découlant d'un risque quelconque, à moins que le gestionnaire fasse recours à une ou plusieurs méthodes quantitatives. Dans le chapitre suivant, nous présentons les méthodes quantitatives les plus connues.

CHAPITRE 4

ANALYSE QUANTITATIVE

4.1 Introduction

L'analyse quantitative permet une modélisation plus raffinée des risques d'un projet, étant donné qu'elle se base sur une quantification et sur des mesures exactes des variables d'un système quelconque. En utilisant les quantités mesurées, cette méthode applique les méthodes statistiques à la gestion des risques.

L'utilisation des statistiques dans l'analyse quantitative permet d'avoir une meilleure crédibilité au niveau des résultats. À cause de la divergence qui peut avoir lieu entre le modèle statistique appliqué et les données analysées, il est à la fois plus exhaustif et rentable de commencer par une analyse qualitative pour mieux comprendre les risques du projet, et ce, avant de s'investir intensément dans les techniques quantitatives. L'analyse quantitative doit avoir lieu uniquement lorsqu'elle est vraiment nécessaire, c'est-à-dire, lorsque les risques ont une influence directe et significative sur le projet.

L'analyse quantitative a permis l'émergence d'un nombre important de méthodes d'analyse. Chacune d'elle a été développée pour un certain type de projets. Dans ce qui suit, nous présenterons les méthodes qui ont suscité le plus d'importance dans la littérature de gestion des risques (Peter W. G. Morris, et al. 2004) (N.J. Smith, et al, 1999).

4.2 Arbres de décision à simple objectif (ADSO)

Connus également sous le nom de réseaux de décision, les arbres de décision à simple objectif SODT (Single-Objective Decision-Tree) sont une représentation visuelle d'une situation à problème et les solutions possibles à ce problème. La probabilité de chaque cas et le coût y associé sont placés sur les différentes parties de l'arbre pour permettre d'avoir des décisions éclairées et justifiées de chaque solution.

Un arbre de décision sans probabilité peut être considéré comme une technique d'analyse qualitative. En général, les probabilités sont obtenues sur la base d'informations historiques, d'analyse statistique, et/ou tout simplement basées sur des observations et des expérimentations (N.J. Smith, et al, 1999).

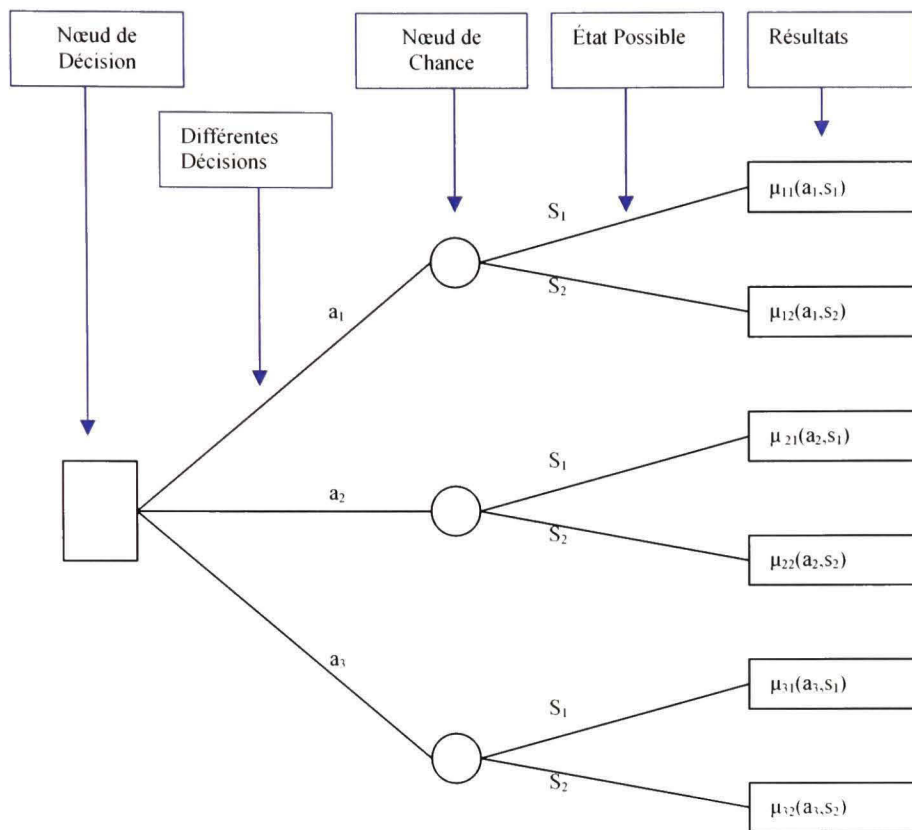


Figure 4.1 Arbre de décision
(Tirée de Yacov Y. Haims. 2004)

Source : Cette figure a été tirée de Yacov Y. Haims. 2004. Risk Modeling, Assessment, and Management, Wiley Series Edition Wiley Interscience.

Nœud de décision : Les nœuds de décision sont représentés par des carrés \square . Les branches sortantes d'un nœud de décision sont les différentes décisions (actions) à prendre et qui doivent être analysées.

Nœud de chance : Les nœuds de chance sont représentés par des cercles \bigcirc . Les branches sortantes d'un nœud de chance constituent les différents états possibles associés avec leurs probabilités respectives.

Résultats : À la fin de l'arbre, nous trouvons les conséquences des actions prises (ex. coût, bénéfice ou risque). Elles sont calculées selon les probabilités de la branche et exprimées en dollars par exemple.

Le profit de chaque décision prise peut être exprimé par la formule suivante :

$$Max \sum_{1 \leq i \leq 3} p(s_j) \mu_{ij} \quad (4.1)$$

Les gestionnaires s'intéressent à minimiser les pertes exprimées par le facteur « pertes attendues » connu sous l'acronyme EOL (Expected Opportunity Loss), plutôt qu'à maximiser le profit. La formule du EOL se base sur la matrice des chances de perte, et prend la même forme de celle du profit en tenant compte des facteurs de perte (N.J. Smith, et al, 1999) (Yacov Y. Haims. 2004).

L'exemple suivant, tiré de l'ouvrage Yacov Y. Haims (2004), montre l'utilité de cette méthode dans la prise de décision. Dans cet exemple, une analyse du marché aux États-Unis d'Amérique indique un manque de béquilles sur le marché américain. Les retours d'investissement sur la fabrication de béquilles sont estimés dans le tableau 4.1 :

Tableau 4.1

Les profits en fonction des ventes et de la taille des béquilles
(Tiré de Yacov Y. Haims. 2004)

Crutch Size	Sales Potential		
	Excellent	Good	Poor
Small	\$250,000	\$100,000	-\$150,000
Regular	\$400,000	\$220,000	-\$30,000
Large	\$200,000	\$100,000	\$10,000

Source : Ce tableau a été tiré de Yacov Y. Haims. 2004. Risk Modeling, Assessment, and Management, Wiley Series Edition Wiley Interscience.

Les probabilités estimées pour le problème des béquilles sont les suivantes :

- Excellentes Ventes s_1 sont estimées avec une probabilité $p(s_1) = 0.3$
- Bonnes Ventes s_2 sont estimées avec une probabilité $p(s_2) = 0.5$
- Faibles Ventes s_3 sont estimées avec une probabilité $p(s_3) = 0.2$

Ces informations mises dans un arbre de décision donnent l'arbre de la figure 4.2 :

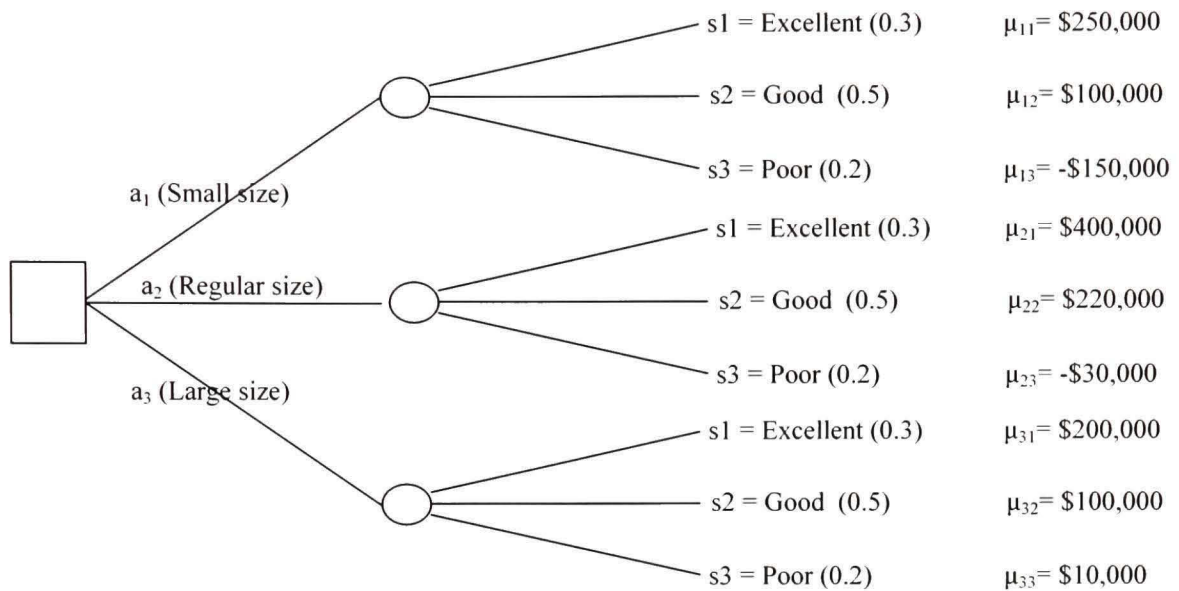


Figure 4.2 Arbre de décision pour le problème des béquilles
(Tirée de Yacov Y. Haims. 2004)

Source : Cette figure a été tirée de Yacov Y. Haims. 2004. Risk Modeling, Assessment, and Management, Wiley Series Edition Wiley Interscience.

La prise de décision se base sur la détermination de quelques valeurs indicatrices telles que : le revenu attendu et la perte attendue.

Valeur du revenu attendu

Pour déterminer la politique optimale de fabrication, nous calculons le profit $E[a_i]$ donné par chaque branche de l'arbre soit :

Béquilles petites tailles (a_1) :

$$E[a_1] = \sum_{j=1}^3 p(s_j) \mu_{1j} = (0.3) (250,000) + (0.5) (100,000) + (0.2) (-150,000) = \$95,000$$

Béquilles tailles régulières (a_2) :

$$E[a_2] = \sum_{j=1}^3 p(s_j) \mu_{2j} = (0.3) (400,000) + (0.5) (220,000) + (0.2) (-30,000) = \$224,000$$

Béquilles tailles grandes (a_3) :

$$E[a_3] = \sum_{j=1}^3 p(s_j) \mu_{3j} = (0.3) (200,000) + (0.5) (100,000) + (0.2) (10,000) = \$112,000$$

La valeur optimale du profit s'obtient en prenant le maximum des valeurs obtenues donc :

$$\text{Max } \{ E[a_1], E[a_2], E[a_3] \} = \{ \$95,000, \$224,000, \$112,000 \} = \$224,000$$

Il en sort de cette évaluation que la fabrication des béquilles de tailles régulières est la solution optimale au problème de fabrication de béquilles. Cette méthode a déjà été appliquée pour l'évaluation des risques dans les projets PPPs (Voir annexe 1).

4.3 Arbre de défaillance

Connu aussi sous le nom de l'arbre de cause, l'arbre de défaillance est une méthode d'analyse descendante, utilisée surtout pour l'analyse de la fiabilité dans les systèmes complexes. Conçue initialement pour évaluer la sécurité des systèmes de tir des missiles, elle consiste à remonter de cause en cause jusqu'à atteindre la cause primaire de chaque défaillance. Ce type d'analyse se base sur la définition des événements indésirables, suivie d'une recherche dont l'objectif est de déterminer toutes les causes qui peuvent contribuer à l'apparition de l'évènement indésirable avec les probabilités associées à chaque sous-système ou composante.

L'arbre de défaillance est présenté comme des combinaisons de défaillances élémentaires, séquentielles et parallèles, liées par des opérateurs logiques, conduisant à l'apparition de l'évènement indésirable. La défaillance ou l'erreur peut être associée à une panne matérielle, une erreur humaine ou tout autre évènement pouvant conduire à un arrêt du système causant ainsi un évènement indésirable.

Les opérateurs logiques utilisés dans cette méthode sont tirés de l'algèbre Booléenne. On y trouve des termes tels que OR, AND, NOT, etc. (Yacov Y. Haims. 2004) (Ulrich Hauptmanns, et al. 1991) (Hélène Denis. 1998).

4.3.1 Opérateurs Logiques :

Les variables du système sont :

- S : Résultat indésirable
- A : Défaillance élémentaire 1
- B : Défaillance élémentaire 2

4.3.2 Opérateur ET (AND)

L'opérateur ET exprime la condition d'existence en même temps. Donc, pour une défaillance S conduisant à l'arrêt du système, il faut que les deux défaillances élémentaires A et B soient présentes en même temps.

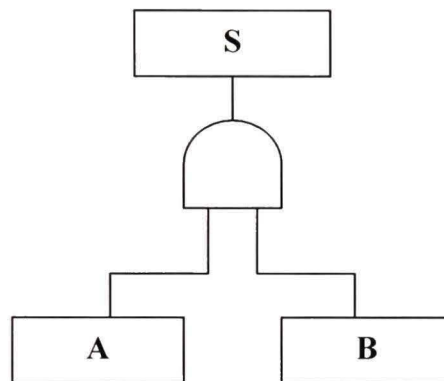


Figure 4.3 Composantes liées par un opérateur ET (AND)
(Tirée de Yacov Y. Haims. 2004.)

Source : Cette figure a été tirée de Yacov Y. Haims. 2004. Risk Modeling, Assessment, and Management, Wiley Series Edition Wiley Interscience.

4.3.3 Opérateur OU (OR)

L'opérateur OU exprime l'alternative. Ce qui signifie que pour une défaillance S conduisant à l'arrêt du système, il suffit que l'une ou l'autre des défaillances élémentaires A ou B soit présente.

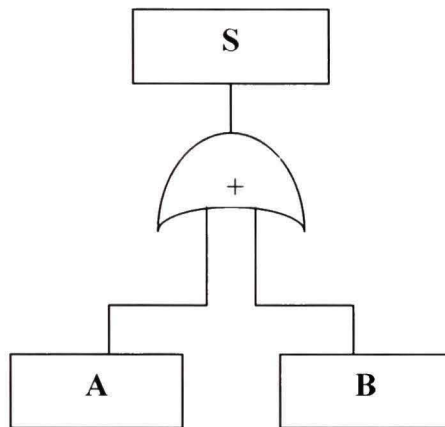


Figure 4.4 Composantes liées par un opérateur OU (OR)
(Tirée de Yacov Y. Haims. 2004.)

Source : Cette figure a été tirée de Yacov Y. Haims. 2004. Risk Modeling, Assessment, and Management, Wiley Series Edition Wiley Interscience.

4.3.4 Différents montages des sous-systèmes

4.3.4.1 Liaison Série

S1 : premier sous-système

S2 : deuxième sous-système

L'état du sous-système S1 influence le fonctionnement du sous-système S2.

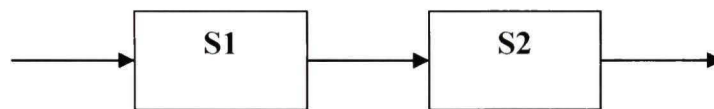


Figure 4.5 Composantes liées en série
(Tirée de Yacov Y. Haims. 2004.)

Source : Cette figure a été tirée de Yacov Y. Haims. 2004. Risk Modeling, Assessment, and Management, Wiley Series Edition Wiley Interscience.

4.3.4.2 Liaison Parallèle

L'état des sous-systèmes S1 et S2 influence le fonctionnement du sous-système qui vient à la sortie.

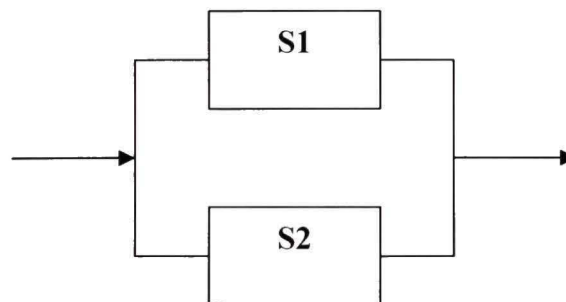


Figure 4.6 Composantes liées en parallèle
(Tirée de Yacov Y. Haims. 2004.)

Source : Cette figure a été tirée de Yacov Y. Haims. 2004. Risk Modeling, Assessment, and Management, Wiley Series Edition Wiley Interscience.

Pour les systèmes trop complexes, les arbres de décision ne peuvent être évalués que par des programmes informatiques, à cause du grand nombre d'opérations à effectuer. L'évaluation de l'arbre peut être faite analytiquement ou par le biais de simulations, pour déterminer les groupes minimaux des arrêts (pannes). Ces groupes représentent une combinaison de composantes dont la défaillance provoque l'arrêt du fonctionnement. Mathématiquement parlant, ces groupes constituent les conditions nécessaires et suffisantes pour avoir un arrêt complet du système.

4.3.5 Limitations de l'arbre de défaillance

- La plus grande limitation est l'aspect qualitatif dans la construction de l'arbre. Le manque d'expertise dans la connaissance du système peut conduire à une sous-estimation des erreurs;
- Durant son exécution, l'arbre ne peut donner de l'information sur les problèmes inconnus;
- La difficulté d'appliquer la logique Booléenne pour décrire l'état de quelques composantes quand leur fonctionnement est partiellement correct constitue une autre limitation;
- Il est difficile d'isoler la relation directe cause à effet.

Cette méthode a aussi été appliquée pour l'évaluation des risques dans projets PPPs (Voir annexe 1).

Exemple d'arbre de défaillance

Étant donné le système de pompage illustré sur la figure 4.7. Quand le niveau du liquide diminue dans le récipient S la pompe P se déclenche pour le remplir à partir du réservoir R. Aucune autre panne ou erreur humaine n'est considérée.

Supposons que les événements conduisant à l'arrêt de l'alimentation AC et la pompe sont présentés par l'arbre de défaillance sur la figure 4.8.

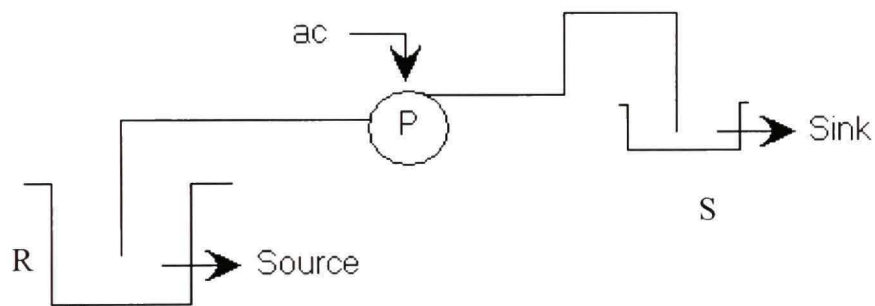


Figure 4.7 Système de pompage
(Tirée Mohammad Modarres. 2006)

Source : Cette figure a été tirée de Mohammad Modarres. 2006. Risk Analysis in Engineering Technics, Tools, and Trends. CRC Press Taylor & Francis Group.

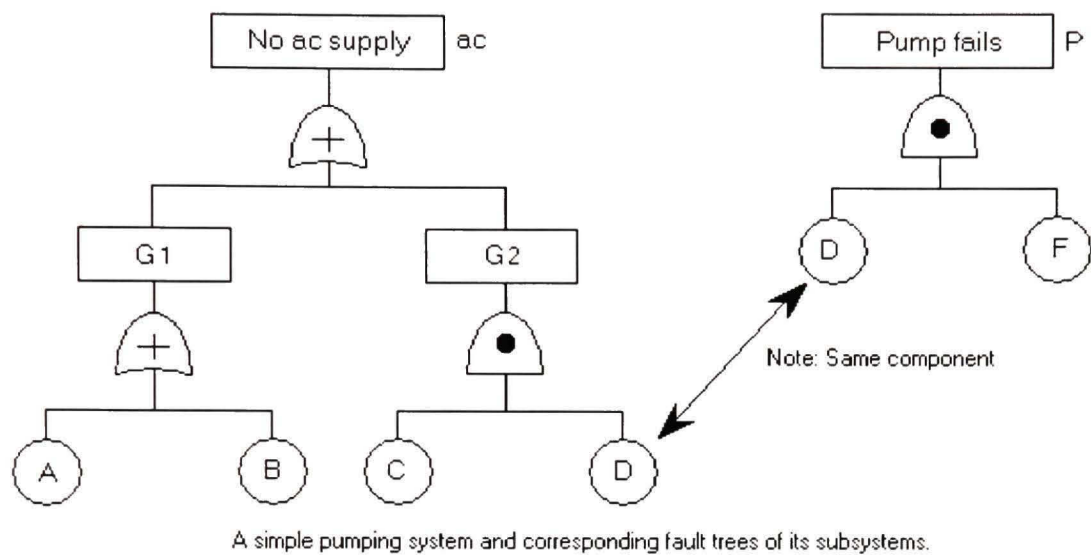


Figure 4.8 Arbre de défaillance
(Tirée Mohammad Modarres. 2006)

Source : Cette figure a été tirée de Mohammad Modarres. 2006. Risk Analysis in Engineering Technics, Tools, and Trends. CRC Press Taylor & Francis Group.

Le symbole  correspond à un NOT AND dans la logique binaire $\overline{(A \cdot B)}$.

La figure 4.9 montre le scénario des événements qui viennent après l'évènement initial 'récepteur niveau bas'. Du moment que l'alimentation (ac) est nécessaire au fonctionnement de la pompe, donc sa défaillance conduit à l'arrêt du système.

D'après l'arbre de défaillance :

- ac : Arrête le système (défaillance ac),
- P : Arrête le système (défaillance de P), et
- $\overline{ac} \cdot \overline{P}$: Assurent le fonctionnement du système.

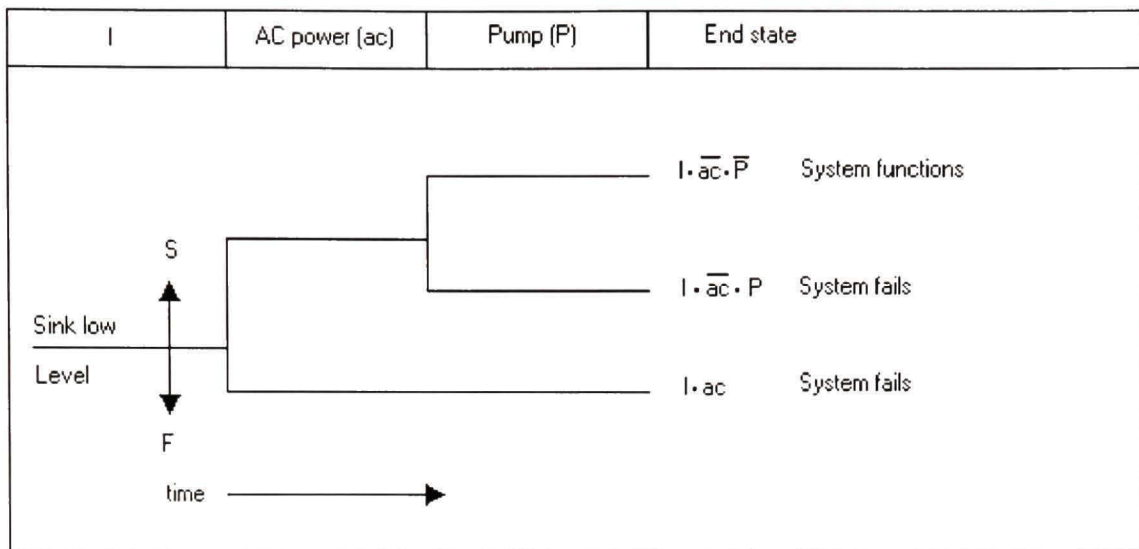


Figure 4.9 Les différents états du système
(Tirée Mohammad Modarres. 2006)

Source : Cette figure a été tirée de Mohammad Modarres. 2006. Risk Analysis in Engineering Technics, Tools, and Trends. CRC Press Taylor & Francis Group.

Tableau 4.2

Données de défaillance des événements
(Tiré de Mohammad Modarres. 2006)

Item	Failure Probability or Frequencies	Success Probability
I	10 per month	-
A	0.01	0.99
B	0.01	0.99
C	0.02	0.98
D	0.05	0.95
F	0.01	0.99

Source : Ce tableau a été tiré de Mohammad Modarres. 2006. Risk Analysis in Engineering Technics, Tools, and Trends. CRC Press Taylor & Francis Group.

A) $I \cdot \overline{ac} \cdot P$ (Arrêt du système)

$$ac = G1 + G2$$

$$G1 = A + B \quad G2 = C \cdot D$$

$$ac = A + B + C \cdot D$$

$$= \overline{A + B + C \cdot D} = (\overline{A} \cdot \overline{B}) \cdot (\overline{C \cdot D})$$

$$= \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot (\overline{C} + \overline{D}) = \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} + \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{D}$$

$$P = D \cdot F \quad \overline{P} = \overline{D} + \overline{F}$$

Après réduction de l'équation Booléenne nous obtenons :

$$I \cdot \overline{ac} \cdot P = I \cdot \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} \cdot D \cdot F \quad (4.2)$$

B) $I \cdot ac$ (Arrêt du système)

De la même manière le deuxième scénario se trouve réduit à l'équation :

$$I \cdot ac = I \cdot A + I \cdot B + I \cdot C \cdot D \quad (4.3)$$

Sachant, d'après les lois des probabilités, que :

$$P(A + B) = P(A) + P(B) - P(A) \cdot P(B) \quad (4.4)$$

$$P(A \cdot B) = P(A) \cdot P(B) \quad (4.5)$$

La fréquence des deux scénarios peut être calculée en fonction de l'évènement initial et les probabilités des défaillances individuelles des éléments du système, donc :

$$\begin{aligned} \text{Pr (arrêt du système)} &= \text{Pr} (I \cdot ac + I \cdot \overline{ac} \cdot P) = \text{Pr} (I \cdot ac) + \text{Pr} (I \cdot \overline{ac} \cdot P) \\ &= f(I) \text{Pr}(A) + f(I) \text{Pr}(B) + f(I) \text{Pr}(C) \text{Pr}(D) \\ &\quad + f(I) \overline{\text{Pr}(A)} \overline{\text{Pr}(B)} \text{Pr}(C) \text{Pr}(F) \end{aligned}$$

Selon le tableau 4.2 des probabilités et fréquences de défaillance du système nous pouvons écrire :

$$\begin{aligned} \text{Fréquence du défaillance du système} &= 10 \{ (0.01) + (0.01) - (0.01)(0.01) + (0.02)(0.05) \\ &\quad - 2 (0.01)(0.02)(0.05) + (0.01)(0.01)(0.02)(0.05) \} \\ &\quad + 10 \times (0.99)(0.99)(0.98)(0.05)(0.01) \\ &\quad = 0.2136 / \text{mois} \end{aligned} \tag{4.6}$$

La fréquence du risque (arrêt du système) est la somme des deux scénarios, c'est-à-dire 0.2136 par mois ou une moyenne de 4.68 mois (application de la règle de 3 : 1 / 0.2136) ce qui équivaut à peu près à 140 jours.

4.4 Analyse des modes de défaillance, d'effets et de criticités

La méthode d'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) est une méthode probabiliste appelée en anglais Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA). Lorsqu'elle est non quantifiée, l'AMDEC est dite AMDE ou FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). Cette méthode a été développée par l'armée américaine vers la fin des années 40 et utilisée pendant les années 50 dans l'industrie aéronautique américaine pour prévenir les défaillances dans les systèmes techniques et quantifier l'impact sur leurs fiabilités et soutenabilités (maintenabilité) (Neau, 2003).

La méthode AMDEC utilise deux approches :

- L'analyse descendante pour le système technique lui-même (hardware), et
- L'analyse ascendante qui s'intéresse au fonctionnement du système (analyse fonctionnelle).

Cette méthode commence par une analyse qualitative qui permet de déterminer les causes des défaillances et leurs différents impacts associés. L'analyse quantitative vient compléter l'approche pour déterminer la probabilité et la gravité de chaque risque.

La première priorité de cette méthode est d'éliminer ou de contrôler à un niveau acceptable les défaillances critiques et catastrophiques d'un système. La simplicité et la robustesse de cette méthode forcent les professionnels et les ingénieurs en assurance de la qualité à suivre un processus méthodique pour déterminer, collecter et analyser l'information critique. Celle-ci permet une réelle évaluation des risques de défaillance des systèmes allant du simple jusqu'au très complexe. Cette simplicité et puissance de la méthode ont poussé les grands industriels, tant civils que militaires, à définir plusieurs standards tels que :

- MIL-STD-2070 : développé pour l'armée américaine (1977),
- SAE J1739 : développé par la Society of Automotive Engineers (2002), et

- Le manuel de référence : qui a été publié en 1993 par Daimler Chrysler, Ford Motor, et General Motors Corporations.

Plusieurs types d'applications de la méthode AMDEC ont été définis : AMDEC du concept, AMDEC du produit et AMDEC du procédé. La figure 4.10 montre un schéma de la méthode du mode design (Neau. 2003).

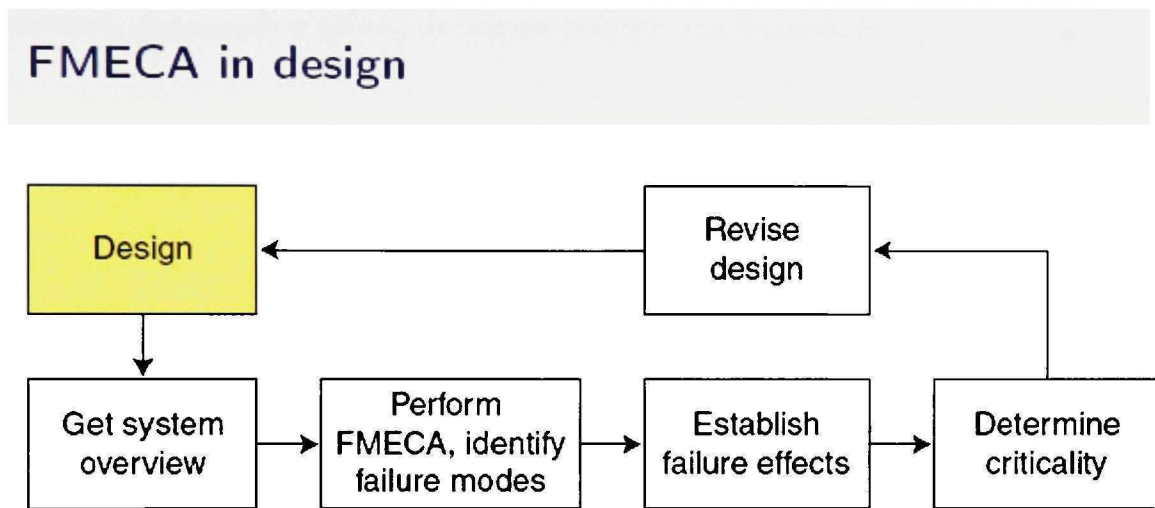


Figure 4.10 La méthode FMECA du design
(Tirée de Marvin Rausand, 2005)

Source : Cette figure a été tirée de Marvin Rausand. 2005. System Analysis Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis. Tiré du livre “ System Reliability Theory; Models, Statistical Methods and Applications (Second Edition), Wiley, 2004” Slide chapitre 3.

Dans son site, Neau (2003) a présenté les différentes étapes de l'AMDEC du design. Le principe de la méthode se base sur le calcul du degré de criticité du risque selon la formule suivante :

$$C = G \times F \times D \quad (4.7)$$

Ou : C = Criticité

G = Gravité de la défaillance

F = Fréquence de la défaillance

D = Détectabilité qui présente la probabilité de détection de l'erreur.

Le niveau de criticité C est obtenu en donnant des valeurs à G , F et D . Les échelles de G , F et D sont déterminées à l'avance et décrites clairement par l'entreprise. Les tableaux suivants montrent un exemple d'échelle de valeurs pour les trois paramètres :

Tableau 4.3

Exemple de valeurs du paramètre G
(Tiré de Neau, 2003)

Valeur G	Critères
1	Défaillance mineure ne provoquant qu'un arrêt de production faible et aucune dégradation notable (arrêt de production inférieur à 1 heure)
2	Défaillance moyenne nécessitant une remise en état ou une petite réparation et provoquant (arrêt de production de 1 à 8 heures)
3	Défaillance critique nécessitant un changement du matériel défectueux et provoquant (arrêt de production de 8 à 48 heures)
4	Défaillance très critique nécessitant une grande intervention et provoquant (arrêt de production de 2 à 7 jours)
5	Défaillance catastrophique impliquant des problèmes de sécurité et/ou une production non-conforme et provoquant (arrêt de production supérieur à 7 jours)

Source : Ce tableau a été tiré de Neau Erwan 2003. La méthode AMDEC (FMEA). En ligne.
<<http://erwan.neau.free.fr/Toolbox/AMDEC.htm>>, Consulté le 24 Janvier 2008.

Tableau 4.4

Exemple de valeurs du paramètre F
(Tiré de Neau, 2003)

Valeur F	Probabilité d'apparition de la défaillance
1	Défaillance inexistante sur matériel similaire (1 arrêt max. tous les 2 ans)
2	Défaillance occasionnelle déjà apparue sur matériel similaire (1 arrêt max. tous les ans)
3	Défaillance occasionnelle posant plus souvent des problèmes (1 arrêt max. tous les 6 mois)
4	Défaillance certaine sur ce type de matériel (1 arrêt max. par mois)
5	Défaillance systématique sur ce type de matériel (1 arrêt max. par semaine)

Source : Ce tableau a été tiré de Neau Erwan 2003. La méthode AMDEC (FMEA). En ligne.
<<http://erwan.neau.free.fr/Toolbox/AMDEC.htm>>.

Tableau 4.5

Exemple de valeurs du paramètre D
(Tiré de Neau, 2003)

Valeur D	Critères
1	Signe avant-coureur de la défaillance que l'opérateur pourra éviter par une action préventive ou alerte automatique d'incident
2	Il existe un signe avant-coureur de la défaillance mis il y a un risque que ce signe ne soit pas perçu par l'opérateur
3	Le signe avant-coureur de la défaillance n'est pas facilement décelable
4	Il n'existe aucun signe avant-coureur de la défaillance

Source : Ce tableau a été tiré de Neau Erwan 2003. La méthode AMDEC (FMEA). En ligne.
<<http://erwan.neau.free.fr/Toolbox/AMDEC.htm>>.

À la fin, les modes de défaillance d'un composant sont regroupés par niveau de criticité de leurs effets et sont par conséquent hiérarchisés. Cette typologie permet d'identifier les composants les plus critiques et de proposer par la suite les actions nécessaires pour remédier aux défaillances.

Malgré le fait que la méthode AMDEC ait connu beaucoup de succès et de développement dans différents secteurs industriels, il paraît qu'elle n'est pas adaptée à l'évaluation des risques dans le contexte des PPPs, vu qu'aucune recherche n'a été menée pour essayer d'y projeter la méthode (Yacov Y. Haims. 2004) (Réza Moghadas. 2001).

4.5 Analyse de sensibilité

La méthode de sensibilité est essentiellement utilisée pour évaluer la validité d'un modèle probabiliste d'évaluation de risque (Probabilistic Risk Assessment : PRA) et l'impact de ses paramètres tels que les suppositions, les hasards, les variables incertaines, etc. sur la valeur du risque final. Les effets des variables et des suppositions sur le risque final dans un PRA sont mesurés en changeant les paramètres un à la fois et en observant le comportement du risque final dans le PRA choisi. Les paramètres dont la variation a un grand impact sur le risque sont considérés comme « sensibles » et doivent être observés de très près pour contrôler leurs impacts sur le système (Mohammad Modarres. 2006).

La méthode la plus connue est celle de l'Indice de Sensibilité à l'Incertitude MISI (USIM – Uncertainty Sensitivity Index Method). Cette méthode se base sur le principe d'optimisation mathématique. Considérons la fonction suivante :

Min $f_1(x, y; \hat{a})$ avec $y = h(x; \hat{a})$

Où x : un vecteur de variables de décision de dimension (n)
 a : un système de paramètres avec une fonction de distribution inconnue
 \hat{a} : représente la valeur nominale de (a)
 $f_1(x, y; \hat{a})$: la fonction objective du système
 y : représente les sorties du système ($y \in \mathbb{R}$)

La sensibilité représente l'incertitude associée aux variations des paramètres du système. Elle est représentée par la fonction suivante :

$$F_2(x; \hat{a}) = [\partial y(x; a) / \partial a]^2 \mid a = \hat{a} \quad (4.8)$$

Après l'obtention de la fonction de sensibilité, le principe de la méthode consiste à faire varier a au voisinage de \hat{a} , et à déterminer, par la suite, la variation minimum de l'indice de performance f_1 (Yacov Y. Haims. 2004).

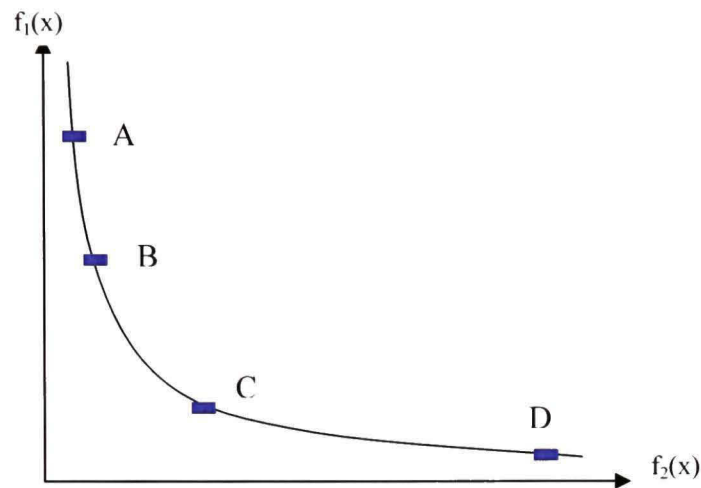


Figure 4.11 Le coût versus la variation de sensibilité
(Tirée de Yacov Y. Haims. 2004)

Source : Cette figure a été tirée de Yacov Y. Haims. 2004. Risk Modeling, Assessment, and Management, Wiley Series Edition Wiley Interscience.

La figure 4.11 illustre un modèle de sensibilité pour minimiser le coût des tests et montre la variation de l'indice de sensibilité.

Où $f_1(x)$: représente le coût et
 $f_2(x)$: représente la variation de la sensibilité.

La solution A se caractérise par un coût très élevé suite au grand nombre de tests effectués, mais avec une petite variation de sensibilité grâce au taux d'exactitude élevé. Par contre, la solution D se caractérise par un coût très faible à cause du petit nombre de tests réalisés, mais avec une grande variation de sensibilité caractérisé par un faible taux d'exactitude.

Plusieurs autres méthodes d'analyse de sensibilité sont utilisées dans l'analyse des risques avec des paramètres aléatoires telles que : Birnbaum, Fussell-Vesely, Risk Reduction Worth (RRW) et Risk Achievement Worth (RAW) (Mohammad Modarres. 2006).

L'exemple suivant est tiré de (Mohammad Modarres. 2006) pour ordonner le risque dans les composantes d'un système d'alimentation en eau, (Pressurized Water Reactor – PWR) illustré sur la figure 4.12, selon leurs probabilités de défaillance et de fonctionnement. Donc, ordonner des éléments en présence de probabilités (incertitudes) nécessite le recours à une génération de distribution de probabilité des rangs, c'est-à-dire, un histogramme des ordres (rangs) de chaque élément dans plusieurs simulations.

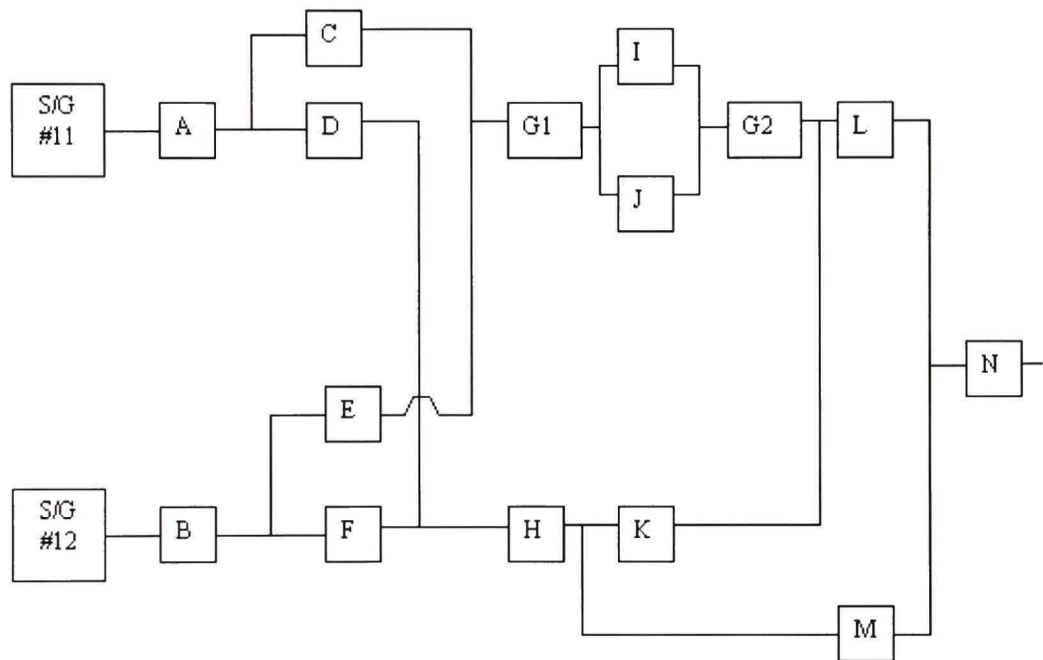


Figure 4.12 Schéma du système d'alimentation en eau - PWR
(Tirée de Mohammad Modarres. 2006)

Source : Cette figure a été tirée de Mohammad Modarres. 2006. Risk Analysis in Engineering Technics, Tools, and Trends. CRC Press Taylor & Francis Group.

La simulation Monte Carlo peut être utilisée pour la génération de grand nombre d'échantillons aléatoires à partir d'une distribution de probabilité représentant les éléments du risque tels que l'indisponibilité des composantes et le taux de défaillance. Le tableau 4.6 montre les caractéristiques opérationnelles du système étudié, où :

- λ : représente le taux de défaillance par heure,
 T : représente l'intervalle de test (en heure),
 T_R : représente le temps moyen de réparation (en heure),
 T_t : représente le temps moyen de test (en heure),
 f_r : représente la fréquence des tests/réparations par intervalle, et
 T_0 : représente le temps d'opération avec $T_0 = T - T_R - T_t$.

Tableau 4.6

Données de défaillance du système PWR
(Tiré de Mohammad Modarres. 2006)

Lognormal Distribution for Failure Rate λ			Average Test			
Block Name	Mean (μ)	SD (λ)	Frequency of Repair f_r	Duration T_t (h)	Average Repair Time T_R (h)	Test Interval T (h)
A	1×10^{-7}	5.0×10^{-8}	9.2×10^{-3}	0	5	720
B	1×10^{-7}	5.0×10^{-8}	9.2×10^{-3}	0	5	720
C	1×10^{-6}	5.0×10^{-7}	2.5×10^{-2}	0	10	720
D	1×10^{-6}	5.0×10^{-7}	2.5×10^{-2}	0	10	720
E	1×10^{-6}	5.0×10^{-7}	2.5×10^{-2}	0	10	720
F	1×10^{-6}	5.0×10^{-7}	2.5×10^{-2}	0	10	720
G(G1&G2)	1×10^{-7}	5.0×10^{-8}	7.7×10^{-4}	0	15	720
H	1×10^{-7}	5.0×10^{-8}	1.8×10^{-4}	0	24	720
I	1×10^{-4}	5.0×10^{-5}	6.8×10^{-1}	2	36	720
J	1×10^{-4}	5.0×10^{-5}	6.8×10^{-1}	2	36	720
K	1×10^{-5}	5.0×10^{-6}	5.5×10^{-1}	2	24	720
L	5×10^{-7}	2.5×10^{-7}	4.3×10^{-3}	0	10	720
M	4×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.5×10^{-1}	0	10	720
N	1×10^{-7}	5.0×10^{-8}	5.8×10^{-4}	0	5	720

Source : Ce tableau a été tiré de Mohammad Modarres. 2006. Risk Analysis in Engineering Technics, Tools, and Trends. CRC Press Taylor & Francis Group.

La méthode Monte Carlo a été utilisée pour calculer l'importance des mesures pour chaque test et déterminer le rang de chaque composante du système. Le tableau 4.7 montre l'importance des mesures selon Fussel-Vesely pour simuler les rangs des composantes sur un total de 5000 échantillons. Selon le tableau 4.7, la composante « A » a pris l'ordre 9 dans 48.3% des cas (c'est-à-dire la 9^{ème} plus importante composante. La composante dans ordre 1 est considéré comme la plus importante), et a pris le rang 10 dans 51.2% des cas, etc. Donc, chaque ligne du tableau peut être vue comme un histogramme montrant la distribution des rangs de chaque composante (élément à risque). Pour plus de détail sur les calculs, le lecteur peut consulter le chapitre 6 de la référence (Mohammad Modarres. 2006).

Tableau 4.7

Fussel-Vesely Rank Order of Components Using Monte Carlo simulation
(Tiré de Mohammad Modarres. 2006)

Block Name	Rank Order													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0.483	0.512	0.002	0.003	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0.513	0.484	0.001	0.002	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.073	0.069	0.434	0.423
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.003	0.429	0.418	0.076	0.073
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.075	0.074	0.422	0.428
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.001	0.419	0.434	0.068	0.076
G	0	0	0	0	0	0	0.261	0.739	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0	0.739	0.261	0	0	0	0	0	0
I	0	0.011	0.095	0.645	0.249	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J	0	0	0.011	0.095	0.645	0.249	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0.004	0.029	0.259	0.089	0.619	0	0	0	0	0	0	0	0
L	0	0.224	0.680	0	0.012	0.084	0	0	0	0	0	0	0	0
M	0.460	0.540	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N	0.540	0.221	0.185	0.001	0.005	0.047	0	0	0	0	0	0	0	0

Source : Ce tableau a été tiré de Mohammad Modarres. 2006. Risk Analysis in Engineering Technics, Tools, and Trends. CRC Press Taylor & Francis Group.

Cette méthode a été appliquée dans les PPPs pour l'estimation des coûts (Yeo 1990) et pour les BOT en Grande-Bretagne (Woodward 1995) (Prasanta K. Dey, et al. 2004).

4.6 Méthode Monte Carlo

Utilisée dans la simulation statistique, la méthode de Monte Carlo est la plus populaire des techniques probabilistes. Le principe de cette méthode se base sur le choix d'une valeur de la distribution de probabilité pour chaque variable du système. Le modèle mathématique du système est ensuite exécuté. Le nombre d'itérations varie selon la taille du projet soit 1000 itérations pour un projet moyen, et doit être suffisant pour avoir des résultats fiables.

Le résultat de la simulation Monte Carlo est une variable aléatoire. De ce fait, seulement les intervalles de confiance contenant la vraie valeur du paramètre sont obtenus. En augmentant le nombre d'itérations, l'intervalle devient plus petit.

Cette méthode utilise une séquence de nombres aléatoires statistiquement obtenus. Pour déterminer sa robustesse (stabilité), l'histogramme obtenu par l'analyse Monte Carlo peut être testé de deux manières. L'histogramme doit être sensible au changement du nombre d'itérations, mais doit être insensible aux changements des nombres aléatoires utilisés.

Cependant, l'utilisation des nombres aléatoires suppose que toutes les variables du système sont indépendantes les unes des autres. Mais cette prémisse n'est pas vraie pour tous les projets. L'exemple le plus évident de l'interdépendance des variables est constaté lorsqu'un retard dans la phase de conception (design) engendre un retard dans la phase de construction. Cette carence peut être surmontée par la création d'une corrélation entre les variables interdépendantes.

Comme dans toutes les méthodes probabilistes, il est très important de choisir la meilleure distribution représentative des variations des paramètres. Cette distribution est basée essentiellement sur des données historiques. Il faut aussi dire que l'utilisation de données historiques peut faire perpétuer un ancien problème, ce qui signifie que si la variation d'un paramètre a été mal choisi au début, les estimations futures basées sur l'historique de cette

variation seront toujours faussées (N.J. Smith, et al, 1999) (Ulrich Hauptmanns, et al. 1991). La méthode Monte Carlo a connu beaucoup de succès dans l'analyse des risques dans les projets PPPs.

4.7 Chaînes de Markov

Les chaînes de Markov sont aussi un moyen statistique pour la modélisation des systèmes afin de pouvoir en prédire le comportement et les performances. Les chaînes de Markov servent à décrire les changements d'un système d'un état X_n à un état X_{n+1} . Le facteur le plus important est la probabilité de transition d'un état à l'autre.

Les chaînes de Markov sont caractérisées par ce qui suit : la probabilité que le système atteigne l'état X_{n+1} dépend seulement de l'état X_n , et elle ne dépend ni des états précédents X_n , ni de la durée du temps écoulé. Graphiquement, les chaînes de Markov sont représentées par des cercles qui constituent les états, des flèches qui font référence aux transitions et des probabilités de passage sur les transitions. Le principe de construction du modèle consiste à :

- Identifier les différents états du système par des cercles;
- Identifier les différentes transitions du système (passage d'un état à l'autre) par des flèches;
- Associer à chaque transition sa probabilité (défaillance ou réparation);
- Évaluer la disponibilité du système en résolvant le système d'équations.

Par nature, les chaînes de Markov évoluent toujours vers un état stationnaire (Ulrich Hauptmanns, et al. 1991) (Réza Moghadas. 2001).

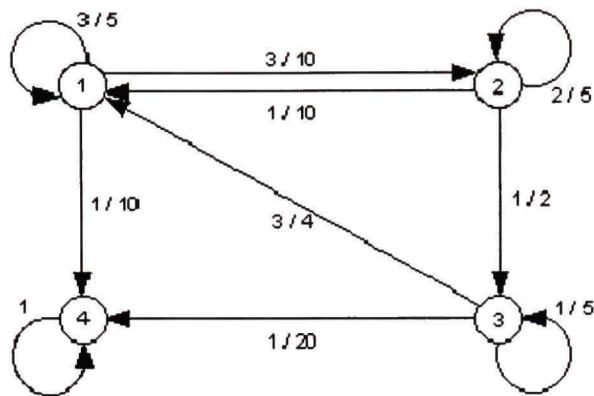


Figure 4.13 Exemple de graphe de transition
(Tirée de Didier Muller, 2008)

Source : Cette figure a été tirée de Didier Muller, 2008, Introduction à la théorie des graphes. En ligne.
<<http://www.apprendre-en-ligne.net/graphes>>.

Les chaînes de Markov ont été largement utilisées dans l'analyse des risques dans le domaine technique pour évaluer la probabilité qu'un système se trouve dans un état indésirable, au même titre que l'arbre de défaillance. Le graphe de transition permet aussi la généralisation du comportement du système pour faire de la simulation et prédire les états futurs du système.

De nos jours, les chaînes de Markov sont utilisées conjointement avec la méthode Monte Carlo pour analyser les risques financiers dans les institutions financières appelée la méthode Markov Chain Monte Carlo (MCMC). Plusieurs autres modèles des chaînes de Markov ont été développés et sont utilisés dans l'analyse des risques dans les marchés financiers.

Les chaînes de Markov proprement dites n'ont jamais été évoquées dans l'analyse des risques dans les projets PPPs. L'évolution d'un processus Markovien est définie par les formules suivantes :

$$X^{(n)} = X^{(n-1)} P \quad (4.9)$$

$$X^{(n)} = X^{(0)} P^n \quad (4.10)$$

Exemple :

Cet exemple a été adapté d'un exemple de l'encyclopédie Wikipedia (Examples of Markov Chains) pour montrer l'application des chaînes de Markov dans la prédiction du comportement d'un système.

Les différents états du système peuvent être représentés par le graphe suivant :

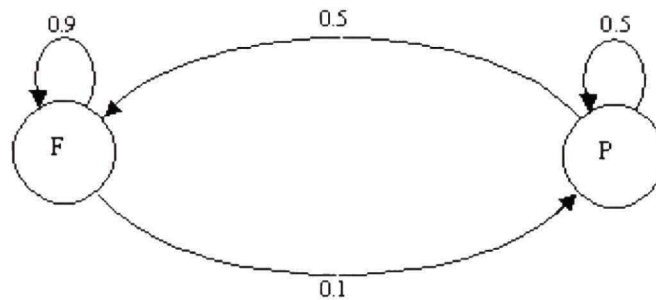


Figure 4.14 Graphe de transition du système
(Graphe adapté à partir d'un exemple tiré de Wikipédia)

Source : Cette figure a été adaptée d'un exemple tiré de l'Encyclopédie Wikipédia. À partir du site http://en.wikipedia.org/wiki/Examples_of_Markov_chains.

Nous constatons que le système dans l'état de fonctionnement normal F possède 90% de chance de rester dans cet état et 10% de chance de tomber dans l'état en panne P. Une fois le système est dans l'état en panne P, il a 50% de chance de passer à l'état de fonctionnement normal F et 50% de chance de rester dans l'état P (en panne).

L'évolution du système peut être présentée par la matrice de transition suivante :

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} F & P \end{matrix} \\ \begin{matrix} F \\ P \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.9 & 0.1 \\ 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.11)$$

Prédisons l'état du système dans le temps : L'état du système est supposé être en fonction F le premier jour (jour 0). Cette information est présentée par le vecteur suivant :

$$\begin{matrix} & F & P \\ \mathbf{x}^{(0)} = & \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.12)$$

Le vecteur se lit comme suit : la probabilité que le système fonctionne correctement est 100% et la probabilité que le système tombe en panne est 0% (le jour 0).

Donc, l'état du système le jour 1 peut être calculé par :

$$\boxed{\mathbf{x}^{(1)} = \mathbf{x}^{(0)} P = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.9 & 0.1 \\ 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.9 & 0.1 \end{bmatrix}} \quad (4.13)$$

Donc, le vecteur résultant montre que le système reste dans l'état F avec 90% de probabilité et tombe en panne P avec une probabilité de 10%.

L'état du système le jour 2 peut être calculé de la même manière :

$$\boxed{\mathbf{x}^{(2)} = \mathbf{x}^{(1)} P = \mathbf{x}^{(0)} P^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.9 & 0.1 \\ 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}^2 = \begin{bmatrix} 0.86 & 0.14 \end{bmatrix}} \quad (4.14)$$

ou

$$\boxed{\mathbf{x}^{(2)} = \mathbf{x}^{(1)} P = \begin{bmatrix} 0.9 & 0.1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.9 & 0.1 \\ 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.86 & 0.14 \end{bmatrix}} \quad (4.15)$$

Donc, après (2) deux jours, le système reste dans l'état F avec seulement 86% de probabilité et tombe en panne P avec une probabilité de 14%. De cette manière, le modèle Markovien peut prédire l'état d'un système quelconque (financier ou technique) sur une longue période de temps.

4.8 Les réseaux de neurones

Les réseaux de neurones formels (ou artificiels) ont été introduits en ingénierie dans les années 1960, et abandonnés vers les années 1970, mais ils ont été repris dans les années 1980. De nos jours, les réseaux de neurones sont devenus une technique de traitement de données comprise et bien maîtrisée. Ils servent à faire des prévisions, élaborer des modèles, reconnaître des formes ou des signaux, etc.

Les réseaux de neurones sont des fonctions mathématiques qui peuvent être considérées comme des fonctions paramétriques non-linéaires, au même titre que les fonctions polynomiales, les ondelettes, les séries de Fourier, les splines, etc.

Avec l'utilisation de l'ordinateur et après ajustement des paramètres (poids), le réseau de neurones peut faire de l'interpolation entre les données. Ainsi, il peut prévoir le résultat des mesures qui n'ont pas encore été faites, expliquer des résultats obtenus dans le passé, etc. De façon générale, un réseau de neurones convenablement ajusté constitue un modèle statistique non linéaire des données. L'ajustement des paramètres s'appelle apprentissage. Le réseau de neurones est utilisé pour faire la simulation de processus et d'en prévoir la fiabilité.

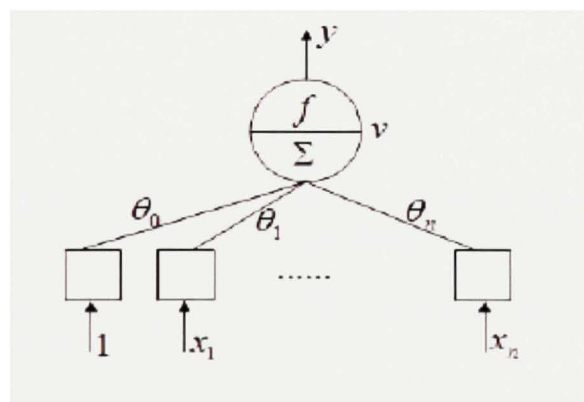


Figure 4.15 Présentation graphique d'un neurone
(Tirée de Démians-Bonaud d'Archimbaud et al. 2006)

Source : Cette figure a été tirée d'un rapport de stage préparé par Démians-Bonaud d'Archimbaud et al. en 2006 à l'École Polytechnique de Paris. France.

La sortie y du neurone est une fonction non-linéaire f de la somme des entrées x_j avec le poids θ_i telle que :

$$y = f(x) = f(\theta_0 + \sum_{i=1}^n \theta_i x_i) \quad (4.16)$$

Les réseaux de neurones peuvent être à simple couche ou à multiples couches où les sorties d'une couche sont les entrées d'une autre.

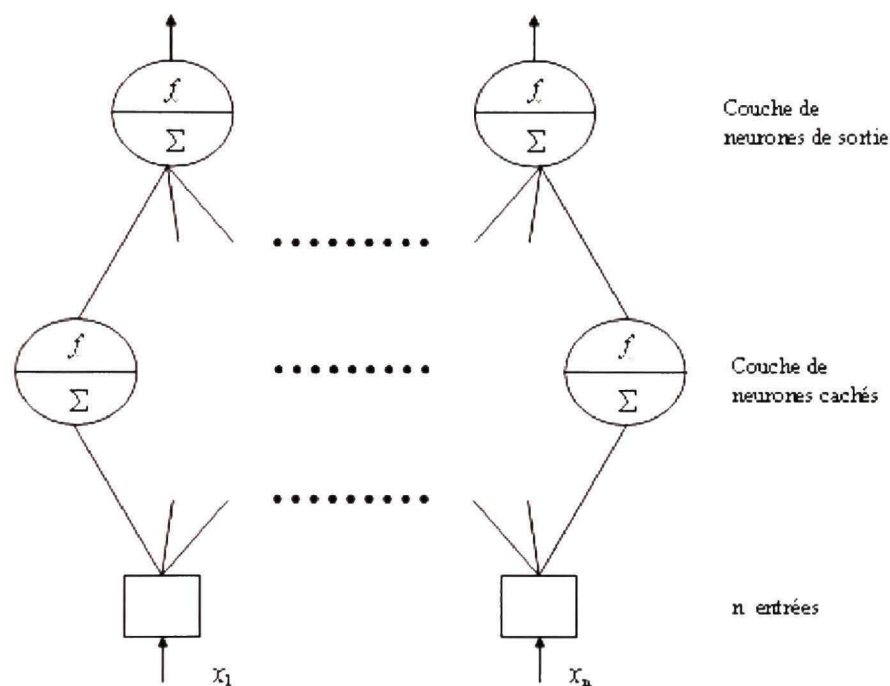


Figure 4.16 Un réseau de neurones multicouches
(Tirée de Démians-Bonaud d'Archimbaud et al. 2006)

Source : Cette figure a été tirée d'un rapport de stage préparé par Démians-Bonaud d'Archimbaud et al. en 2006 à l'École Polytechnique de Paris, France.

Le principe de cette méthode est de trouver la meilleure fonction non-linéaire reliant les sorties aux données en entrées, pour cela il faut (G. Dreyfus. 1997) :

- 1- Choisir l'architecture du réseau (les entrées du réseau et qui constituent les variables du système), la topologie et la taille du réseau. Ceci permet de déterminer la famille de

fonctions non-linéaires avec des paramètres inconnus (poids du réseau) qui vont reproduire les sorties à partir des entrées;

- 2- Faire l'apprentissage du réseau (ajustement des paramètres), ce qui signifie le calcul des poids qui minimisent l'erreur de l'approximation;
- 3- Évaluer les performances du réseau pour un groupe de données, appelé groupe de test.

Les réseaux de neurones ont été souvent étudiés dans beaucoup de recherches pour faire l'analyse des risques dans les projets PPPs.

4.9 Méthode PERT

PERT est l'abréviation de Program Evaluation and Review Technique. Cet outil a été créé en 1957 pour l'US Navy, dans le cadre de développement du programme des fusées Polaris, et permet de calculer le meilleur temps de réalisation d'un projet et d'établir le planning correspondant. Le graphe PERT est le même que le diagramme de la Méthode du Chemin Critique (CPM), en introduisant des calculs statistiques.

Le principe de la méthode consiste à mettre en ordre sous forme d'un graphe, plusieurs tâches qui grâce à leurs dépendances et à leurs chronologies concourent toutes à la réalisation d'un projet. Le graphe PERT est composé d'étapes (ou évènements) et de tâches (ou opérations). Une étape est représentée par un cercle alors qu'une tâche est représentée par une flèche.

Le réseau PERT permet de déterminer le chemin critique qui signifie : les tâches pour lesquelles le moindre retard entraîne un retard sur l'ensemble du projet. Le graphe PERT est composé d'étapes et de tâches (ou opérations) (James R. Chapman. 1997) (Lavagnon A. Ika 2004). Voir figure 4.18.

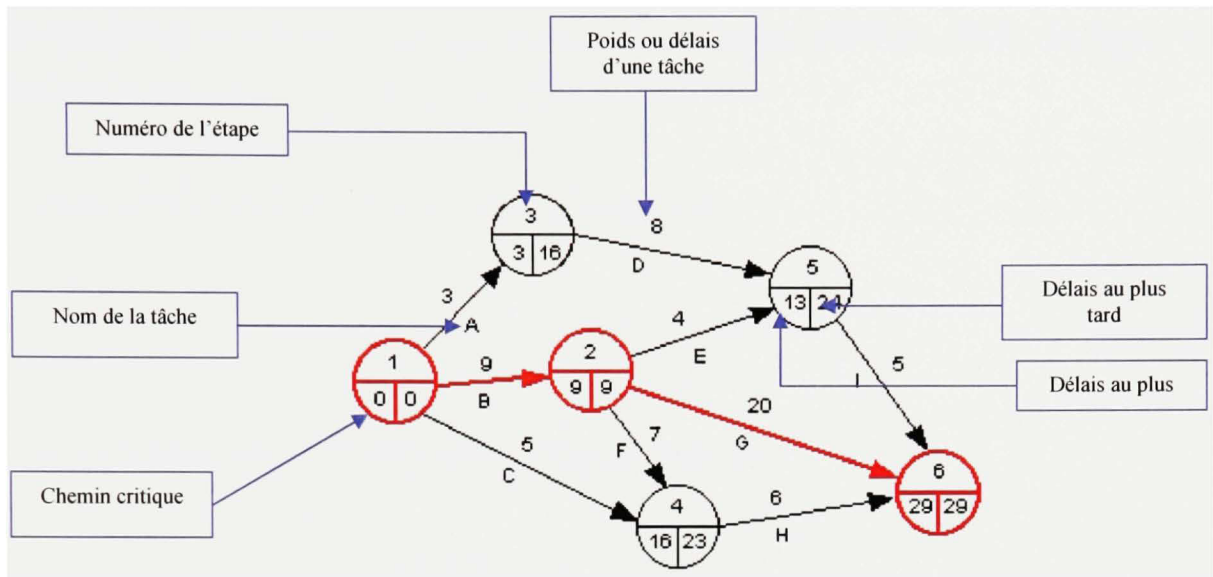


Figure 4.17 Exemple d'un graphe PERT et chemin critique en rouge
(Tirée et adaptée de Didier Muller. 2008)

Source : Cette figure a été tirée et adaptée de Didier Muller. 2008, Introduction à la théorie des graphes.
<<http://www.apprendre-en-ligne.net/graphes>>.

La méthode PERT permet de prendre en compte l'incertitude et le risque qui entourent les durées respectives du projet et de calculer la probabilité de compléter le projet à temps (Jean-Louis Brissard et al. 1996) (Eva Regnier. Avril 2005).

PERT repose sur l'estimation de trois durées pour déterminer les durées prévues de chaque activité et la durée totale prévue du projet ainsi que la variance de délai à savoir :

- le temps de réalisation optimiste (a);
- le temps de réalisation le plus probable (m);
- le temps de réalisation pessimiste (b).

La méthode PERT se base sur la distribution Bêta à cause de sa flexibilité. La moyenne pondérée et les variations de chaque activité permettent au gestionnaire de projet de calculer

la probabilité de respecter différents calendriers de travail (Clifford. 2007). La figure 4.18 montre un exemple d'une distribution Bêta.

Le temps d'achèvement attendu se définit comme suit :

$$t = (a + 4 \times m + b) / 6 \quad (4.17)$$

L'écart type de temps d'achèvement se définit comme suit :

$$\sigma = (b - a) / 6 \quad (4.18)$$

La variance du temps d'achèvement se définit comme suit :

$$V = ((b - a) / 6)^2 = \sigma^2 \quad (4.19)$$

Où a : présente la durée optimiste de l'activité
 m : présente la durée réelle de l'activité
 b : présente la durée pessimiste de l'activité, et
 t : présente la durée moyenne pondérée de l'activité.

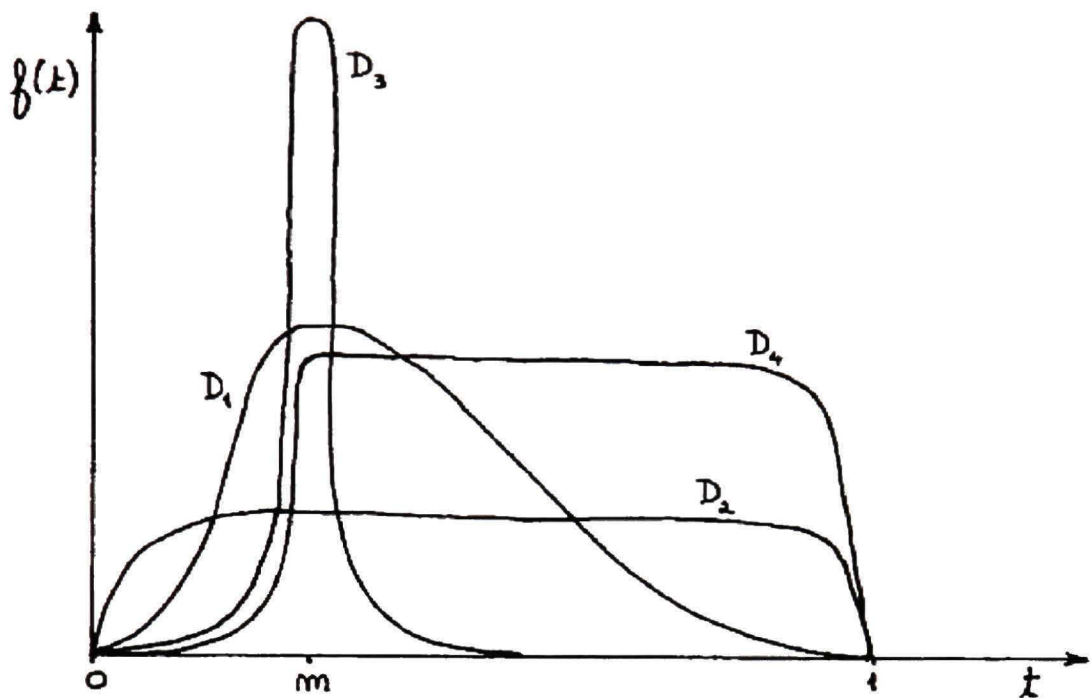


Figure 4.18 Différentes formes de la distribution Bêta
(Tirée de Marie-Elise Ernould. 2007)

Source : Cette figure a été tirée de Marie-Elise Ernould, 2007. Comparaison des Approches Pert Stochastique et Pert Flou. Application à un Projet Industriel. Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur civil en physique. Université Libre de Bruxelles Faculté des Sciences Appliquées.

Quoique la méthode PERT a été conçue initialement pour le calcul du temps d'achèvement des tâches et leurs effets sur le projet, en 1997, les chercheurs Zedan Hatush et Martin Skitmore ont pu adapter la méthode en appliquant les mêmes notions de pessimiste, optimiste et moyenne sur la qualité, la solvabilité, la performance, etc. pour faire de l'analyse des risques dans la sélection des entrepreneurs (compagnie privée) dans les projets de construction (Voir annexe 1).

4.10 Conclusion

Les méthodes quantitatives présentées dans ce chapitre servent à déterminer numériquement la probabilité du risque et son impact sur le projet. La projection du risque peut aussi être déterminée (simulée) sur une longue période telle que les périodes de concession qui s'étalent, des fois, sur plus d'une vingtaine d'années. Certaines méthodes présentées dans ce chapitre n'ont jamais été appliquées aux PPPs, mais leur introduction dans ce mémoire est faite sur la base de leur réputation pour la gestion des risques dans le domaine industriel. Il est à noter que les méthodes quantitatives nécessitent le recours à des calculs intensifs exécutés par des ordinateurs. Donc, avant de faire appel à une de ces méthodes, il serait plus rentable de procéder à une analyse qualitative afin de réduire le nombre des risques à analyser. Dans le chapitre suivant, nous présentons quelques exemples d'applications de ces méthodes, appelées des fois les outils d'analyse des risques ou RATT pour Risk Analysis Tools and Technics.

CHAPITRE 5

MÉTHODES D'ANALYSE APPLIQUÉES AUX PPPS

5.1 Introduction

Les méthodes présentées, précédemment, ne sont pas toutes adaptées aux projets de types partenariat publics privés. En raison de la rareté des sujets traitant l'application des méthodes d'analyses des risques dans les projets PPPs, nous présentons, dans ce qui suit, quelques méthodes appliquées aux PPPs, ainsi que d'autres, appliquées, seulement, à certaines phases d'un projet PPP (ex. construction et évaluation des soumissions).

5.2 Évaluation des risques des PPPs pour les projets des infrastructures (Darrin Grimsey, et al. 2002)

5.2.1 Définition du projet

Le projet étudié, dans cet exemple, concerne des usines de traitement des eaux usées en Grande-Bretagne. Les installations sont financées, conçues, construites et exploitées par le secteur privé pour le traitement des eaux usées.

5.2.2 Origines des risques

La majorité des risques dans les projets PPPs viennent de la complexité de l'arrangement lui-même entre le partenaire public et le partenaire privé. La documentation, le financement, les taxes, les détails techniques et les sous-contrats entrant dans le projet sont tous objet à risque dont la nature peut changer tout au long du projet. Ceci est surtout dû à la durée de la période de concession. L'exemple le plus simple est que les risques rencontrés durant la phase de construction ne sont pas identiques à ceux rencontrés durant la phase d'exploitation.

La complexité de l'évaluation des risques est présentée sur la figure 5.1. Le projet concerne la compagnie Almond Valley and Seafeld (AV&S) et comporte la construction et l'exploitation d'une usine de traitement des eaux pour la East of Scotland Water (ESW). Le contrat de service de 30 ans a été signé entre le secteur public représenté par la ESW d'une part et la Stirling Water de l'autre part. Il y a aussi une autre entente séparée concernant l'exploitation entre la Stirling Water et la Thames Water l'opérateur du secteur privé.

La figure 5.1 résume les relations existantes entre les différents partenaires du projet d'où la complexité de l'évaluation des risques pour tous les intervenants.

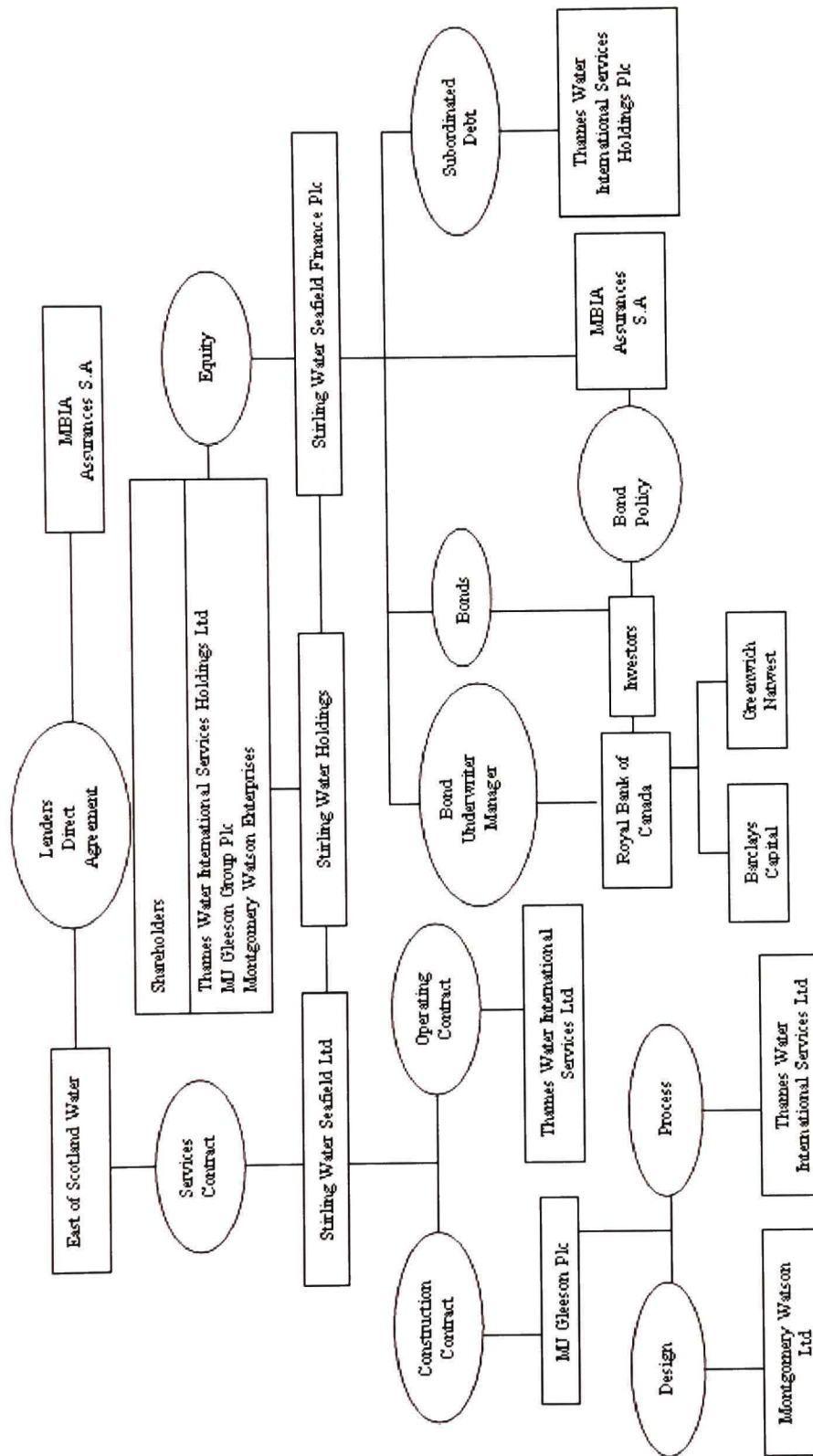


Figure 5.1 Les arrangements contractuels dans un projet PPP
(Tirée de Darrin Grimsey, et al. 2002)

Source : Cette figure a été tirée de Darrin Grimsey, Mervyn K. Lewis, 2002. Evaluating the risks of public private partnerships for infrastructure projects. International Journal of Project Management 20 (2002) 107-118.

5.2.3 Les risques identifiés

Les risques qui ont été identifiés dans ce projet sont au nombre de neuf à savoir :

- Risques techniques : sont dus aux erreurs d'ingénierie et de conception;
- Risques de construction : qui peuvent être causés par les erreurs dans les techniques de construction et les augmentations de coûts ainsi que les délais prévus;
- Risques d'exploitation : qui sont dus aux coûts élevés de l'exploitation et aux coûts de maintenance;
- Risques des revenus : par exemple, le manque de trafic, le manque de la demande sur le produit, etc. Ce qui engendre un manque au niveau des revenus;
- Risques financiers : qui peuvent résulter des coûts de financement ou des revenus insuffisants;
- Risques de force majeure : qui incluent les guerres et les catastrophes naturelles;
- Risques réglementaires et politiques : dus aux changements des règlements et des lois;
- Risques environnementaux : dus à l'impact de l'environnement;
- Risques du projet : dus à n'importe quelle combinaison de risques déjà cités.

5.2.4 Analyse des risques

Une conception réussie du projet exige une analyse experte de tous les risques, avec des arrangements adéquats pour une allocation appropriée des risques. Pour cela, les risques ont été catégorisés en risques globaux et risques élémentaires.

- Les risques globaux : sont ceux qui peuvent être alloués dans l'entente du projet signée entre les partenaires, et concerne les risques politiques, légaux, commerciaux et environnementaux;
- Les risques élémentaires : sont les risques relatifs aux éléments de la construction, de l'exploitation, du financement et des revenus du projet.

Une fois les risques sont identifiés, il est très important d'examiner la nature du risque et sa sévérité selon les différents points de vue des partenaires. La figure 5.2 présente une approche analytique pour les trois grands groupes d'entités résumant les perspectives des risques, les variables clés, les risques majeurs auxquels ces entités sont exposées et le type d'analyse appropriée d'un risque quelconque.

La technique d'analyse qui devrait être utilisée, par chaque entité, dépend du degré d'exposition au risque et de la nature du retour attendu par le partenaire.

Les trois grandes entités dans le projet sont :

5.2.4.1 Acquéreur (Procurer)

La ESW qui agit comme acquéreur s'intéresse seulement aux coûts attendus sous forme de paiements à faire selon les clauses du contrat. Les risques analysés sont :

- Le contrat était conditionné par l'obtention d'un plan d'entente, et d'un mécanisme de partage de risque où la ESW paierait une proportion des changements de coût sous forme d'ajustements aux tarifs;
- Stirling Water avait mis dans la soumission que les coûts durant la phase de construction, et qui sont dus aux découvertes telles que les antiquités, doivent être assumés par la ESW;
- Les soumissionnaires ont été avisés pour calculer l'impact du retard à partir de la date de la signature du contrat jusqu'à la date du début des travaux fixée pour Janvier 2001. La ESW et ses conseillés ont évalué l'impact du retard et ont ajusté les soumissions en conséquence.

Les risques ont été analysés en calculant les coûts attendus par la ESW, et un ajustement a été fait sur la valeur nette présente (actualisée) (Net Present Value – NPV) de la soumission.

Dans le cas de la Stirling Water, il y avait une augmentation de 1 % par rapport à la NPV de la soumission.

Sous l'entente du développement du projet, la ESW a accepté de retenir les risques dus aux changements des taux d'intérêt. Pour calculer l'impact de ce risque, l'analyse de sensibilité a été utilisée. Le tableau 5.1 montre les résultats de cette analyse qui indique qu'une augmentation du taux des intérêts de 1% conduit à une augmentation de 3.6% de la NPV du coût du projet. D'après l'analyse, la ESW est protégée contre les changements des taux d'intérêt avec une augmentation modérée du taux d'intérêt (1%).

Tableau 5.1

La sensibilité du taux d'intérêt pour l'acquéreur
(Tiré de Darrin Grimsey, et al. 2002)

Interest rate	% increase/decrease in NPV of expected cost stream from base case
Base case -1%	-3.3
Base case -0.5%	-1.7
Base case	Base case NPV
Base case +0.5%	+1.8
Base case +1%	+3.6
Base case +1.5%	+5.4
Base case +2%	+7.5

Source : Ce tableau a été tiré de Darrin Grimsey, Mervyn K. Lewis. 2002. Evaluating the risks of public private partnerships for infrastructure projects. International Journal of Project Management 20 (2002) 107-118.

La ESW a aussi retenu le risque du taux d'inflation, qui conduit à un écart dans l'indice du prix détail RPI (Retail Prices Index) par rapport à celui prévu dans le modèle financier. Comme pour les taux d'intérêt, le taux d'inflation est très difficile à prédire donc, l'analyse de sensibilité a aussi été utilisée pour l'évaluer. Le tableau 5.2 montre la variation dans la NPV avec des taux d'inflation allant de 2 à 6%, et indique que les NPVs sont réduites avec

un haut taux d'inflation. Cette analyse montre aussi que la ESW est bien protégée contre l'augmentation des taux d'inflation dans le futur.

Tableau 5.2

La sensibilité du taux d'inflation pour l'acquéreur
(Tiré de Darrin Grimsey, et al. 2002)

RPI assumption (%)	% increase/decrease in NPV of expected cost stream from base case
2	-4.79
3	+1.47
3.5	Base case NPV
4	-1.36
5	-3.79
6	-5.90

Source : Ce tableau a été tiré de Darrin Grimsey, Mervyn K. Lewis. 2002. Evaluating the risks of public private partnerships for infrastructure projects. International Journal of Project Management 20 (2002) 107-118.

5.2.4.2 Promoteur (Sponsors)

Le promoteur est l'instance chargée de la mise en œuvre, la gestion et du financement d'une étude, et qui assume l'indemnisation éventuelle des sujets en cas de dommages. Du point de vue du promoteur qui est la Stirling Water dans notre cas, l'analyse des risques tourne autour de l'impact majeur sur le rendement des capitaux et les dettes. Les risques identifiés sont :

- Risque du volume des eaux à traiter;
- Risque des dépenses d'équipements, et la gestion des coûts plus élevés que prévu;
- Risque des coûts d'exploitation;
- Risque de l'efficacité de l'exploitation.

Bien que le risque du retard dans la phase de construction soit très important, il n'est pas considéré dans ce cas, car ce risque est assumé par le contractant (l'entrepreneur de

réalisation) et non par le promoteur. L'analyse des risques a été faite avec le logiciel @RISK qui utilise la méthode Monte-Carlo pour la simulation. Les résultats de l'analyse quantitative du risque sont montrés dans le tableau 5.3.

Tableau 5.3

La simulation Monte-Carlo pour l'analyse des risques des rendements
des capitaux et des dettes pour le promoteur
(Tiré de Darrin Grimsey, et al. 2002)

Simulation	Decrease in blended equity IRR
Minimum simulation result	Base case -7.17%
5% probability of returns being less than	Base case -5.48%
25% probability of returns being less than	Base case -3.9%
50% probability of returns being less than	Base case -2.52%
75% probability of returns being less than	Base case -1.47%
95% probability of returns being less than	Base case -0.57%
Maximum simulation result	Base case -0.06%

Source : Ce tableau a été tiré de Darrin Grimsey, Mervyn K. Lewis. 2002. Evaluating the risks of public private partnerships for infrastructure projects. International Journal of Project Management 20 (2002) 107-118.

5.2.4.3 Prêteurs (Senior lenders)

Du côté des prêteurs, une analyse de sensibilité a été conduite par la ESW, qui montre à ceux-ci que le plan du financement de la Stirling Water est assez consistant pour supporter les fonds anticipés.

5.2.5 Résultats des différentes analyses

L'utilisation de plusieurs méthodes d'analyse des risques dans le projet AV&S a démontré que :

- Le projet dégage une valeur monétaire (Value-for-Money - VFM) à l'acquéreur ESW en satisfaisant les critères du gouvernement pour investir dans de grands projets;
- Le projet a un grand potentiel pour le promoteur;
- Le test de sensibilité dans le pire des cas montre une grande stabilité financière du point de vue des prêteurs.

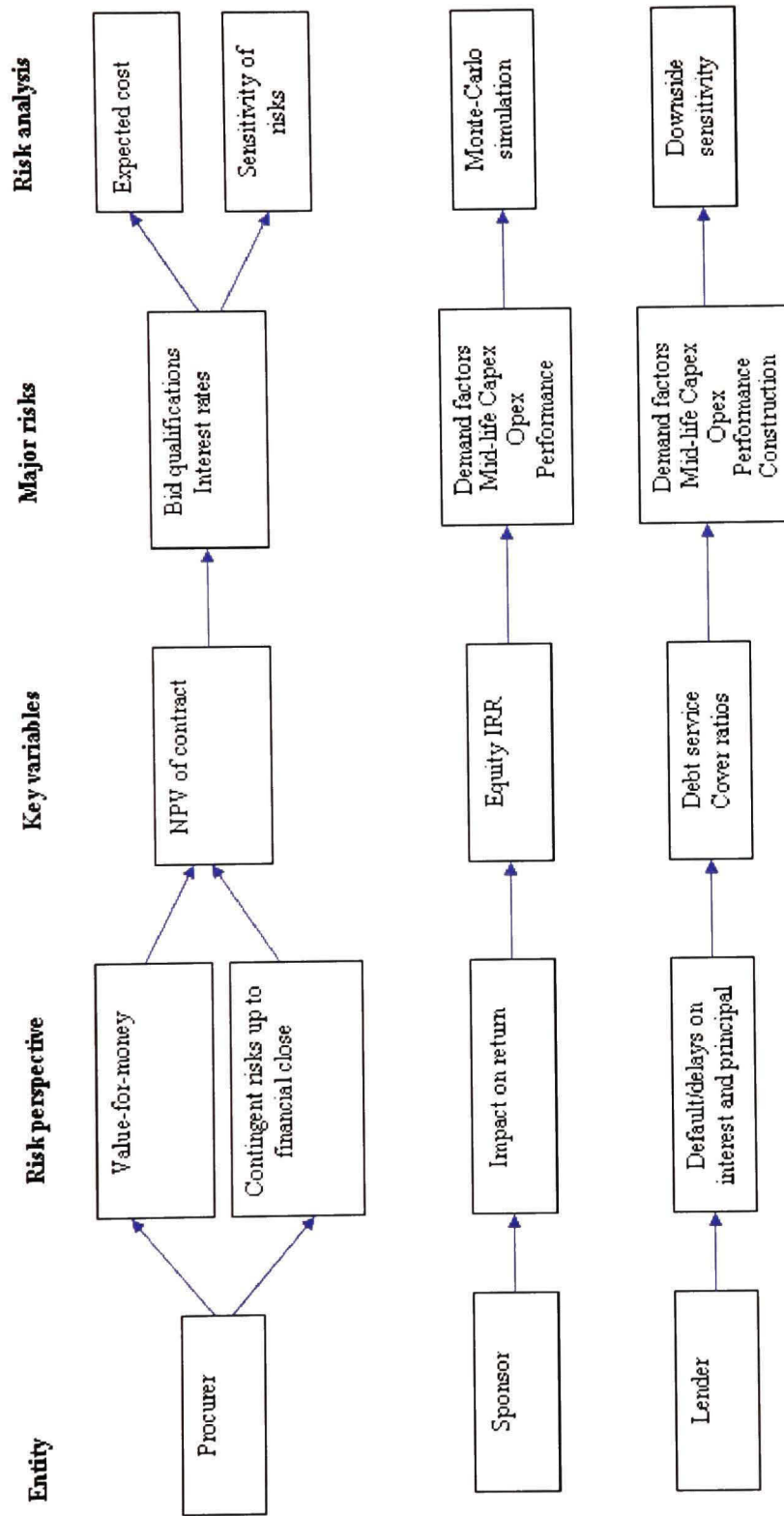


Figure 5.2 Schéma de l'approche analytique
(Tirée de Darrin Grimsey, et al. 2002)

Source : Cette figure a été tirée de Darrin Grimsey, Mervyn K. Lewis. 2002. Evaluating the risks of public private partnerships for infrastructure projects. International Journal of Project Management 20 (2002) 107-118.

5.3 Analyse des risques dans les BOT pour les projets des centrales électriques

5.3.1 Définition du projet

Le projet concerne l'analyse des risques dans les projets de type BOT, pour une centrale électrique composée de trois unités à Guangdong (Chine), utilisant le logiciel DynRisk. Quatre méthodes sont utilisées dans cette étude; à savoir le diagramme d'influence, l'analyse de probabilité, l'analyse de sensibilité et l'analyse de variance.

5.3.2 Analyse des risques sous DynRisk

L'analyse des risques sous le logiciel DynRisk se fait selon quatre méthodes qui se complètent. Le logiciel se définit comme un programme utilisant principalement la simulation Monte-Carlo pour produire un modèle de flux monétaire incorporant l'aspect probabiliste des variables.

5.3.3 Diagramme d'influence

La première étape dans l'analyse des risques d'un projet sous DynRisk commence par la modélisation avec le diagramme d'influence des coûts comportant beaucoup de risques. En ayant le diagramme d'influence entre les mains, les gestionnaires peuvent voir aisément les relations et les causes directes entre les variables du système (Figure 5.3).

L'importance du diagramme d'influence réside dans le fait qu'il commence par une description du problème purement qualitative sans aucune valeur numérique, permettant ainsi une modélisation très facile du problème. Pour une analyse structurée des risques, un modèle de flux monétaire a été défini.

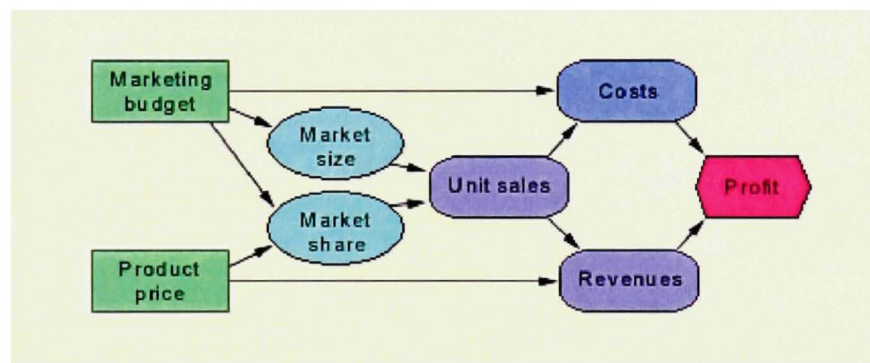


Figure 5.3 Exemple de diagramme d'influence
(The Course, Project Management Institute 2007)

Source : Cette figure a été tirée de The Course, Project Management Institute, Student Materials.
<<http://www.thecourse-online.us/Students/InfluenceDiagram.htm>>.

5.3.4 Modèle du flux monétaire

Le modèle du flux monétaire du projet est composé de deux sous-modèles :

- Le modèle d'évaluation du projet qui ne tient pas compte des effets des prêts et des taxes;
- Le modèle de financement du projet qui englobe les prêts, intérêts et taxes et leurs influences sur l'état financier du projet (Figure 5.4).

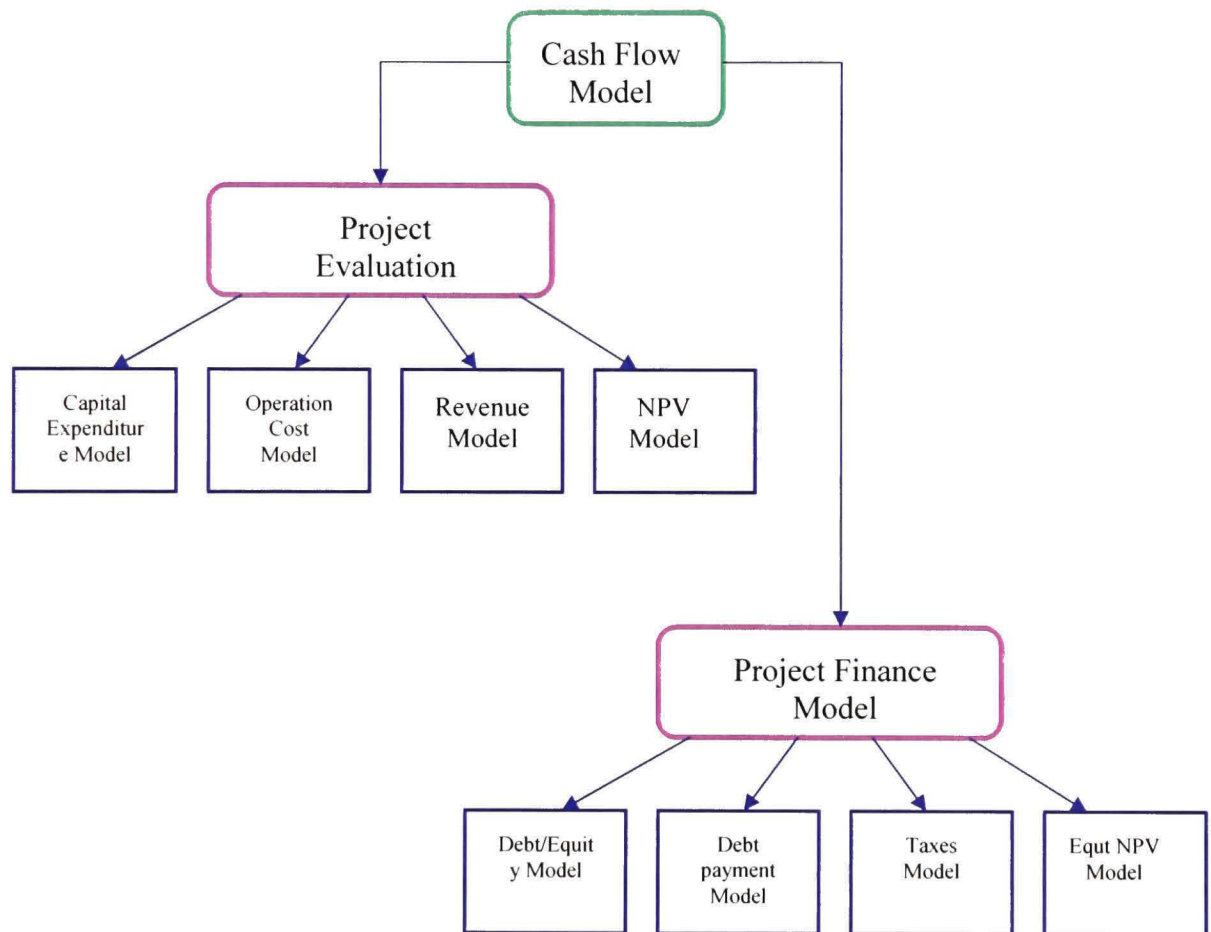


Figure 5.4 Modèle du flux monétaire
(Tirée de T.S. Chee et al. 1995)

Source : Cette figure a été tirée de T.S. Chee and K.T. Yeo. 1995. Risk Analysis of a Build-Operate-Transfer (B.O.T) Power Plant Project. Centre for Engineering & Technology Management. Nanyang Technological University – Singapore. IEEE 1995.

Le modèle du projet obtenu est basé sur les données suivantes :

- La période de concession comprend 6 ans de construction et 25 ans d'exploitation;
- La puissance est fournie par 3 unités de 250 MW chacune. La première unité commence l'exploitation après 4 ans, et toutes les unités après 5 ans;
- Une dépense d'équipement sans augmentation (CAPEX) = 750M \$US;
- L'augmentation du CAPEX suit une distribution normale de 3% à 7%;
- Les tarifs suivent une distribution normale de 80% à 120% de la valeur de base qui est égale à 0.08 \$US par kWh;
- Les coûts d'exploitation et de maintenance (O&M pour Operating and Maintenance) sont supposés être 6 millions \$US la quatrième année et 12 millions \$US la cinquième année;
- Le coût du combustible par année avec une capacité maximum suit une distribution logarithmique normale allant de 80% à 125% de la valeur de base qui est de 142 857 \$US par MW; quant à l'augmentation du combustible, elle suit une distribution normale;
- Le taux de dépréciation est de 30%;
- La politique des taxes permet une taxe fériée (jour de congé) jusqu'à ce que les revenus cumulés soient positifs. La taxation suit une distribution normale de 30% à 50%;
- Le taux des dettes et capitaux propres = 85/15.

Le taux d'intérêt de la banque suit une distribution logarithmique normale allant de 10% à 16%. Le début des paiements commence la septième année.

5.3.5 Analyse probabiliste

La simulation Monte-Carlo est exécutée avec 500 itérations, pour éviter les résultats biaisés des échantillons. Pour les deux modèles de flux, les trois techniques (Monte Carlo, analyse de sensibilité et analyse de variance) ont été appliquées.

A- Analyse des probabilités

a) Modèle d'évaluation

La figure 5.5 montre l'actualisation du flux monétaire cumulé sur toute la période de concession. La NPV de base à 10% est de 416.5 millions \$US, avec une actualisation maximale de 545 millions \$US. La période de paiement est définie sur 11 ans.

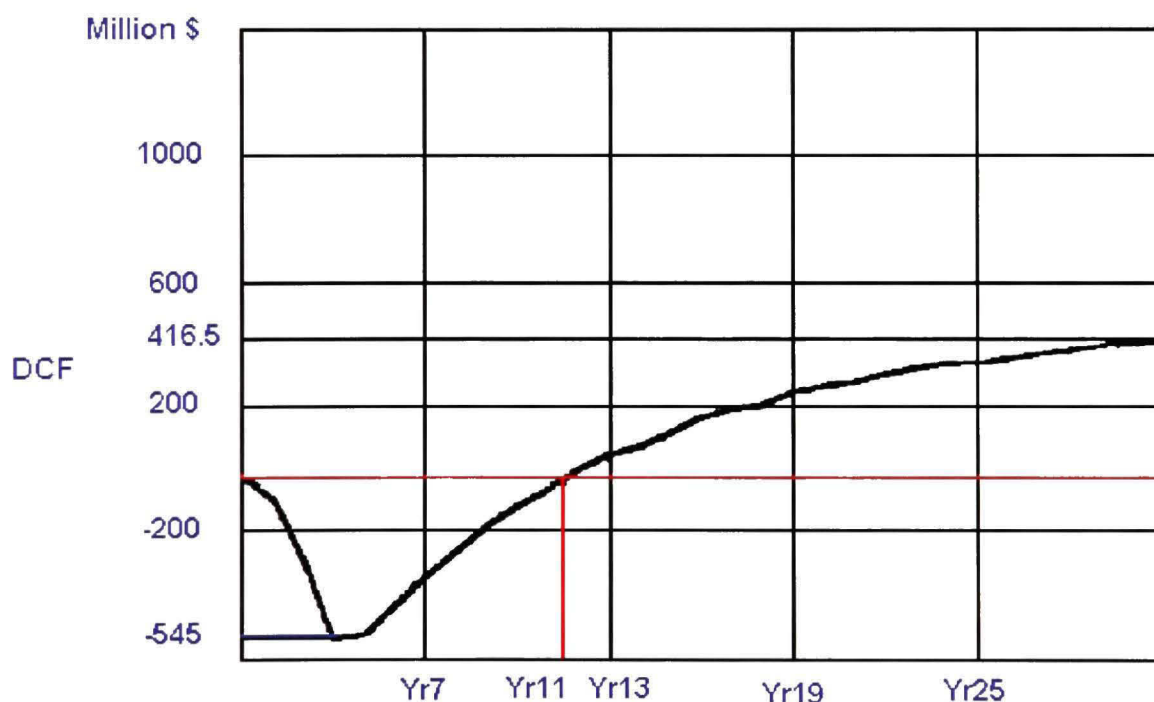


Figure 5.5 Actualisation du flux cumulé
(Tirée de T.S. Chee et al. 1995)

Source : Cette figure a été tirée de T.S. Chee and K.T. Yeo. 1995. Risk Analysis of a Build-Operate-Transfer (B.O.T) Power Plant Project. Centre for Engineering & Technology Management. Nanyang Technological University – Singapore. IEEE 1995.

b) Modèle de financement

La figure 5.6 montre l'actualisation du flux monétaire cumulé attribuée aux capitaux propres sur toute la période de concession. La NPV de base à l'année 31 attribuée aux capitaux propres à un taux d'actualisation de 10% est de 198.1 millions \$US, avec un maximum d'actualisation de 101.2 millions \$US. La période de paiement est définie sur 12 ans.

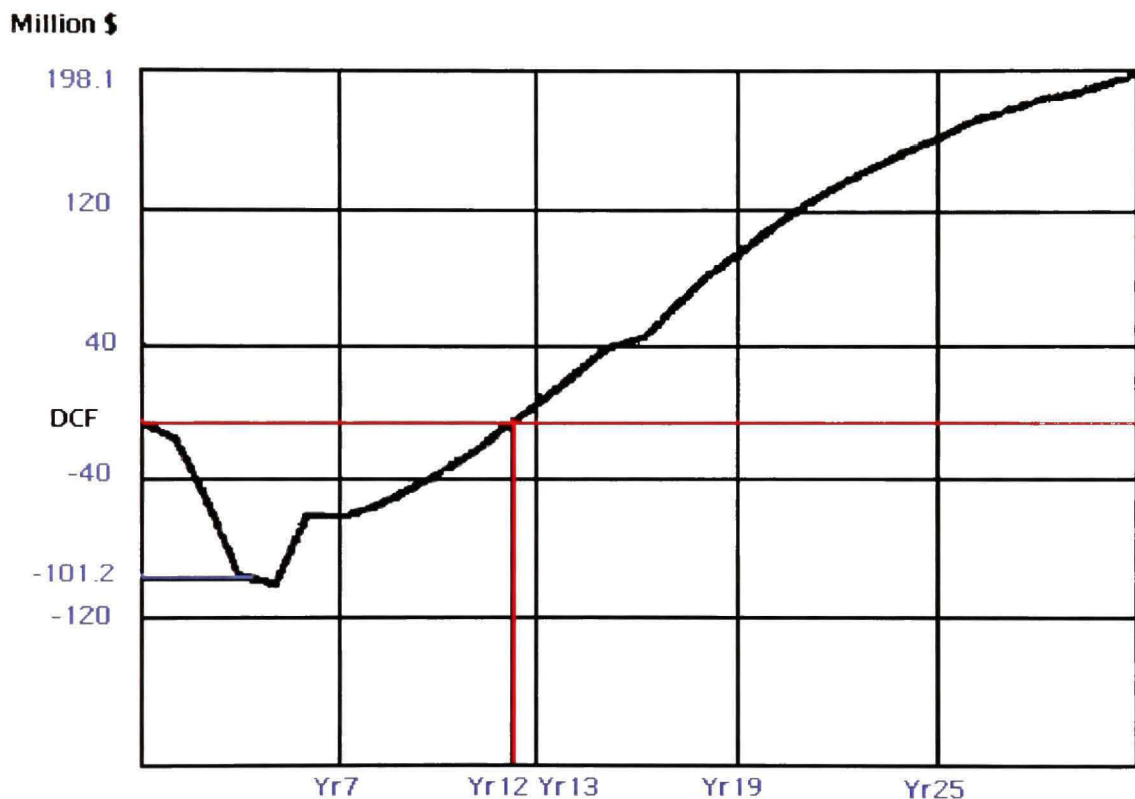


Figure 5.6 Actualisation du flux monétaire pour les capitaux propres
(Tirée de T.S. Chee et al. 1995)

Source : Cette figure a été tirée de T.S. Chee and K.T. Yeo. 1995. Risk Analysis of a Build-Operate-Transfer (B.O.T) Power Plant Project. Centre for Engineering & Technology Management. Nanyang Technological University – Singapore. IEEE 1995.

B- Analyse de la sensibilité et de la variance

a) Modèle d'évaluation

➤ Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité est faite en se basant sur 10% de changement dans les variables à risque, pour pouvoir prédire l'impact sur la NPV à l'année 31. Cette analyse est réalisée sur toutes les variables à risque qui sont :

- ❑ Coût d'équipement (CAPEX);
- ❑ Taux d'augmentation du CAPEX;
- ❑ Taux d'augmentation du combustible;
- ❑ Facteurs des usines;
- ❑ Les tarifs;
- ❑ Coût du combustible;
- ❑ Les taux d'exploitation et de maintenance.

À cause du nombre élevé des variables, une analyse préliminaire de sensibilité est faite en les prenant toutes en compte. Les variables les plus sensibles sont ensuite regroupées ensemble pour être analysées de nouveau. Le résultat de l'analyse est montré sur la figure 5.7.

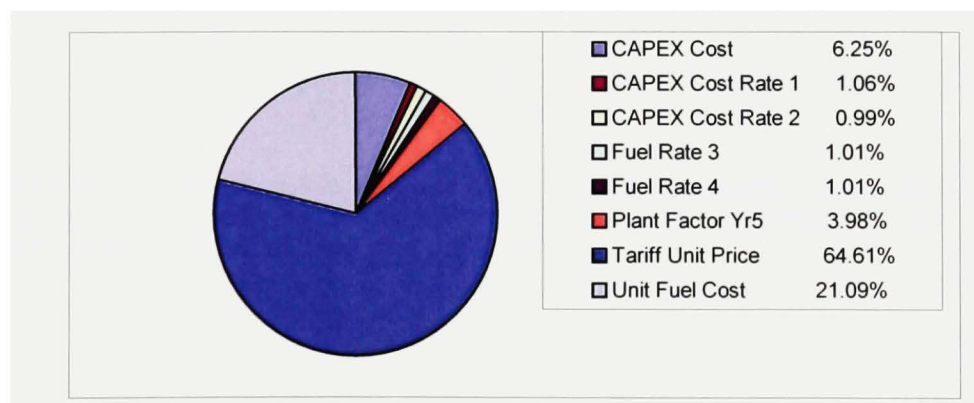


Figure 5.7 Analyse de sensibilité du modèle d'évaluation du projet
(Tirée de T.S. Chee et al. 1995)

Source : Cette figure a été tirée de T.S. Chee and K.T. Yeo. 1995. Risk Analysis of a Build-Operate-Transfer (B.O.T) Power Plant Project. Centre for Engineering & Technology Management. Nanyang Technological University – Singapore. IEEE 1995.

D'après la figure 5.7, il est facile de déduire que les éléments les plus sensibles sont le tarif unitaire (64.61%) suivi du prix unitaire du combustible (fuel) (21.09%).

➤ Analyse de variance

De la même manière, une analyse préliminaire de variance est faite en premier, pour éliminer les variables avec des variances moins critiques. Le résultat de l'analyse est présenté sur la figure 5.8. D'après les résultats, l'incertitude dans la NPV est toujours dominée par l'incertitude dans le tarif unitaire (83.93).

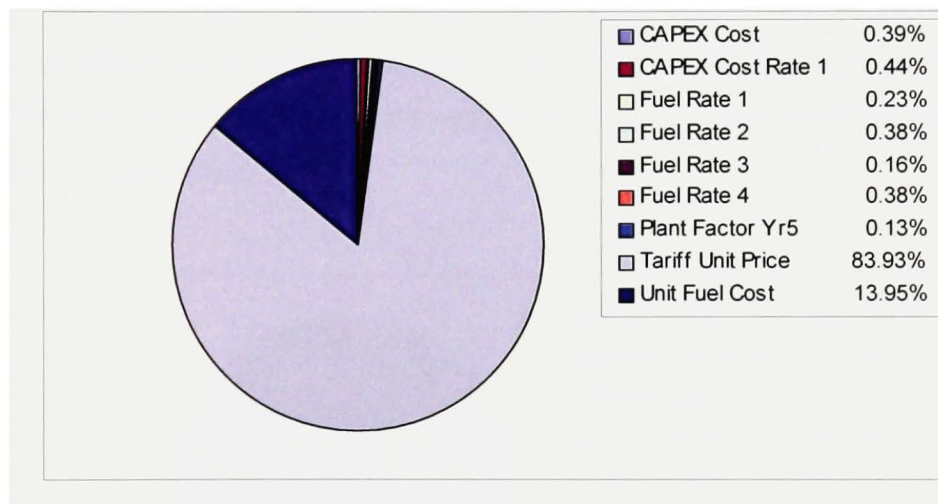


Figure 5.8 Analyse de variance du modèle d'évaluation du projet
(Tirée de T.S. Chee et al. 1995)

Source : Cette figure a été tirée de T.S. Chee and K.T. Yeo. 1995. Risk Analysis of a Build-Operate-Transfer (B.O.T) Power Plant Project. Centre for Engineering & Technology Management, Nanyang Technological University – Singapore. IEEE 1995.

b) Modèle de financement

➤ Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité est faite, à ce niveau aussi, sur la base de 10% de changement dans les variables à risque, pour pouvoir prédire l'impact sur la NPV des capitaux propres à l'année 31. Cette analyse est aussi appliquée à toutes les variables à risque. Les variables les plus sensibles sont encore regroupées dans une seconde analyse.

Le résultat de l'analyse est montré sur la figure 5.9. Encore une autre fois, on observe que l'élément le plus sensible est le tarif unitaire (à 62.65%), suivi du prix unitaire du combustible (à 21.43%). Donc les deux modèles, soient le modèle d'évaluation et le modèle de financement, sont en accord. Ce qui implique que les promoteurs (Sponsors) doivent évaluer (observer) en permanence (monitoring) ces deux variables tout au long de la période de concession.

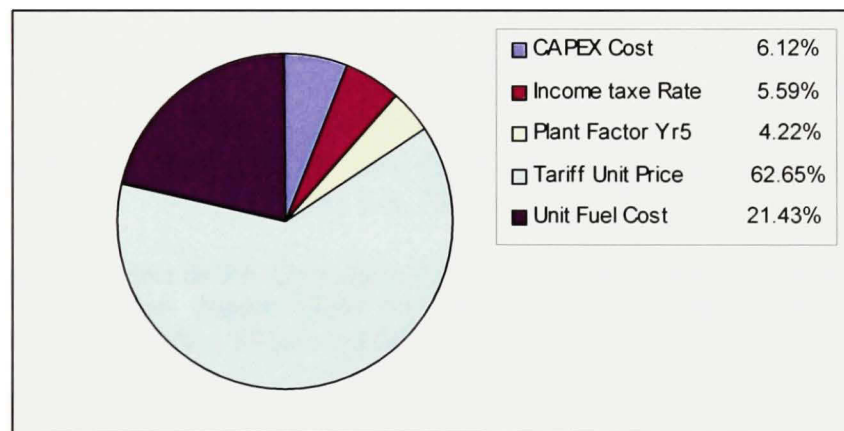


Figure 5.9 Analyse de sensibilité du modèle de financement du projet
(Tirée de T.S. Chee et al. 1995)

Source : Cette figure a été tirée de T.S. Chee and K.T. Yeo. 1995. Risk Analysis of a Build-Operate-Transfer (B.O.T) Power Plant Project. Centre for Engineering & Technology Management. Nanyang Technological University – Singapore. IEEE 1995.

➤ **Analyse de variance**

Le résultat de l'analyse de variance est présenté sur la figure 5.10, où l'on peut constater que l'incertitude sur la NPV est due à l'incertitude dans le tarif unitaire (à 82.84%).

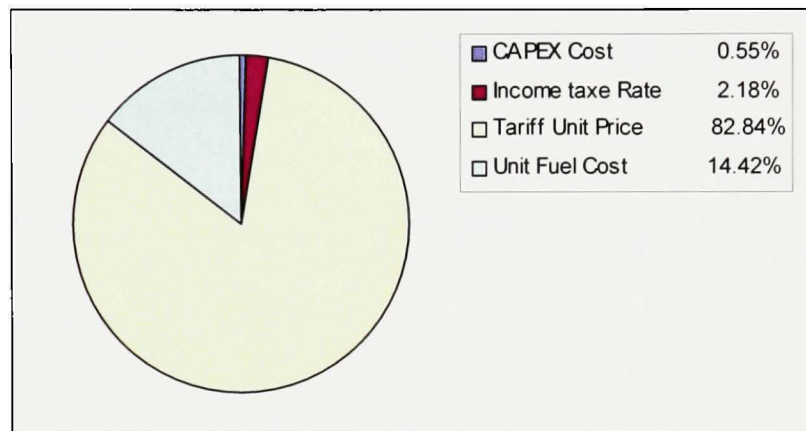


Figure 5.10 Analyse de variance du modèle de financement du projet
(Tirée de T.S. Chee et al. 1995)

Source : Cette figure a été tirée de T.S. Chee and K.T. Yeo. 1995. Risk Analysis of a Build-Operate-Transfer (B.O.T) Power Plant Project. Centre for Engineering & Technology Management. Nanyang Technological University – Singapore. IEEE 1995.

5.4 Évaluation des risques dans les projets de construction par la méthode des ensembles flous (Roozbeh Kangari, et al. May 1987)

Cette recherche a été développée dans le but de voir l'applicabilité des méthodes dites subjectives (qualitatives) dans l'évaluation des risques qui peuvent survenir durant la phase de construction. Dans les situations, où l'information quantitative n'est pas disponible, les gestionnaires se trouvent obligés à prendre des décisions basées sur l'information qualitative ou sur des descriptions linguistiques en langage naturel, tel que « mauvais temps », « conception non complète » ou « gestion inefficace ». Ces concepts ne sont pas pris en compte dans les méthodes quantitatives.

5.4.1 Définition de l'univers des ensembles flous

Soient A et B deux ensembles flous tels que :

$$\begin{array}{l} A = [x \mid \mu_A(x)] \\ B = [y \mid \mu_B(y)] \end{array} \quad (5.1)$$

Avec $x \in X$ et $y \in Y$ et ou :

A, B sont les ensembles flous, et

$\mu_A(x)$ présente le degré d'appartenance de x à A .

La figure 5.11 montre un exemple d'analyse des risques avec les ensembles flous.

On remarque que pour :

$x = 1$ et $\mu_A(x) = 0.8$ dans la catégorie "Risk-Low" veut dire que le degré d'appartenance de la valeur 1 à l'ensemble Low est égal à 0.8 donc :

$x = 1$ à 80% de chance d'être un risque Faible, donc le risque peut être considéré comme Faible.

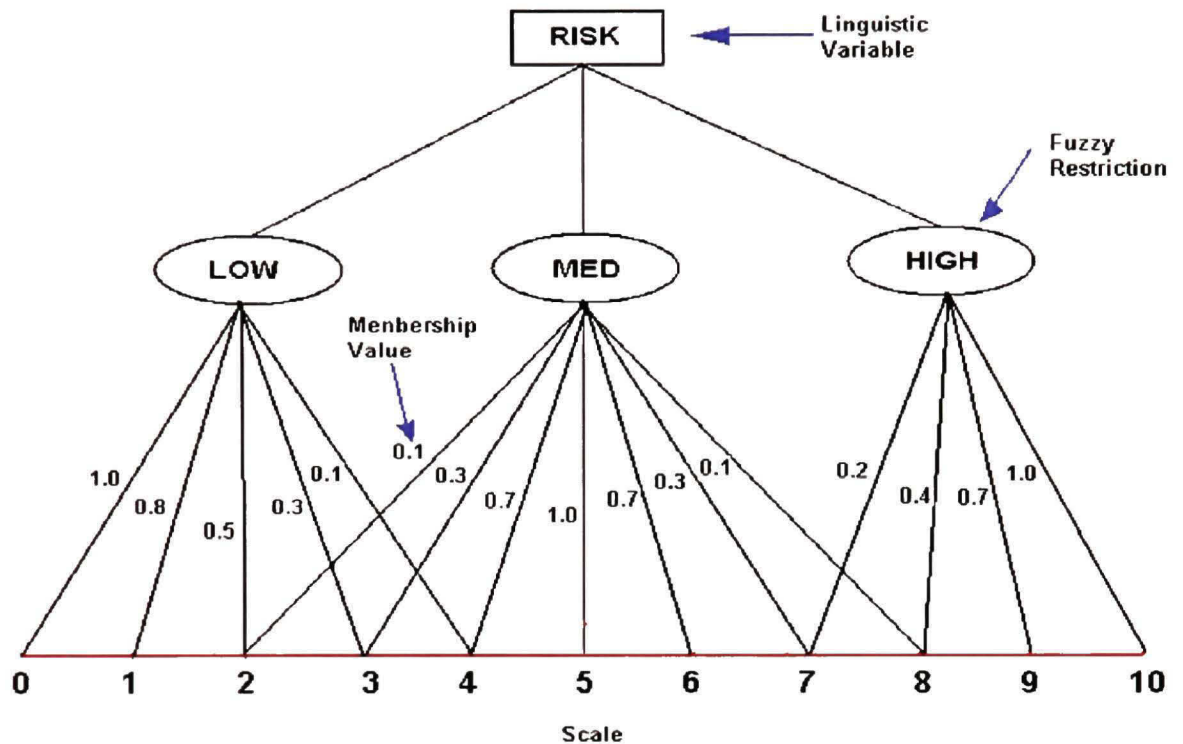


Figure 5.11 Structure de l'analyse par les ensembles flous
(Tirée de Roozbeh Kangari, et al. May 1987)

Source : Cette figure a été tirée de Roozbeh Kangari, member IEEE, and Leland S. Riggs. May 1987. Construction Risk Assessment by Linguistics, IEEE Transactions on Engineering Management Vol 36, No 2, May 1987.

5.4.2 Opérations sur les ensembles flous

Comme tout ensemble mathématique, les ensembles flous ont besoin d'opérations pour faire des calculs ensemblistes. Pour cela, trois opérations de base ont été définies dans cet univers à savoir :

La somme \oplus

$$A \oplus B = [(x + y) \mid \min (\mu_A (x), \mu_B (y))] \quad (5.2)$$

La multiplication \otimes

$$A \otimes B = [(x * y) \mid \min (\mu_A (x), \mu_B (y))] \quad (5.3)$$

La division \oslash

$$A \oslash B = [(x / y) \mid \min (\mu_A (x), \mu_B (y))] \quad (5.4)$$

5.4.3 Évaluation des risques

L'évaluation des risques se fait en trois étapes :

5.4.3.1 Représentation du risque en langage naturel

Considérons le groupe des descriptions (ensemble flous) que le terme « gestion » peut prendre comme : « mauvaise », « moyenne », ou « excellente ». Les ensembles flous basés sur des valeurs entières de 0 à 10 peuvent être :

Mauvaise gestion = [0|0.8, 1|1.0, 2|0.7, 3|0.4, 4|0.1, 5|0, 6|0, 7|0, 8|0, 9|0, 10|0]

Moyenne gestion = [0|0, 1|0, 2|0.2, 3|0.5, 4|0.8, 5|1.0, 6|0.8, 7|0.5, 8|0.2, 9|0, 10|0]

Excellente gestion = [0|0, 1|0, 2|0, 3|0, 4|0, 5|0, 6|0.2, 7|0.3, 8|0.7, 9|0.8, 10|1.0]

Ces estimations sont fournies par l'utilisateur ou le concepteur du système selon sa compréhension des variables linguistiques : mauvaise gestion, moyenne gestion et excellente gestion. La signification des variables linguistiques doit refléter la réalité de ce qui se passe dans le projet. La figure 5.12 montre l'interférence des trois ensembles : la mauvaise gestion s'annule lorsque la moyenne est à son maximum, et aussi la moyenne s'annule lorsque la mauvaise et l'excellente sont à leurs maximums.

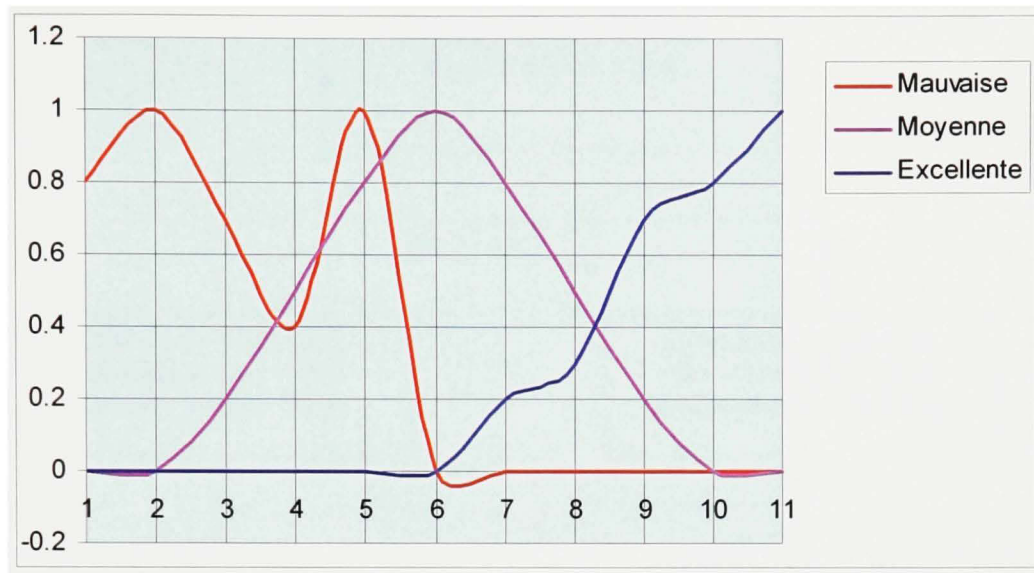


Figure 5.12 Représentation des trois ensembles flous du terme gestion
(mauvaise, moyenne, excellente)
(Données tirées de Roozbeh Kangari, et al. May 1987)

Source : Cette figure a été construite avec Microsoft Excel en utilisant les données des ensembles flous définissant les gestions mauvaise, moyenne et excellente; tirées de Roozbeh Kangari, member IEEE, and Leland S. Riggs. May 1987. Construction Risk Assessment by Linguistics, IEEE Transactions on Engineering Management Vol 36, No 2, May 1987.

5.4.3.2 Évaluation du risque

La seconde partie du modèle évalue le risque global à partir du risque estimé de chaque composante. Considérons le modèle d'analyse du risque pour un projet de construction présenté sur la figure 5.13 :

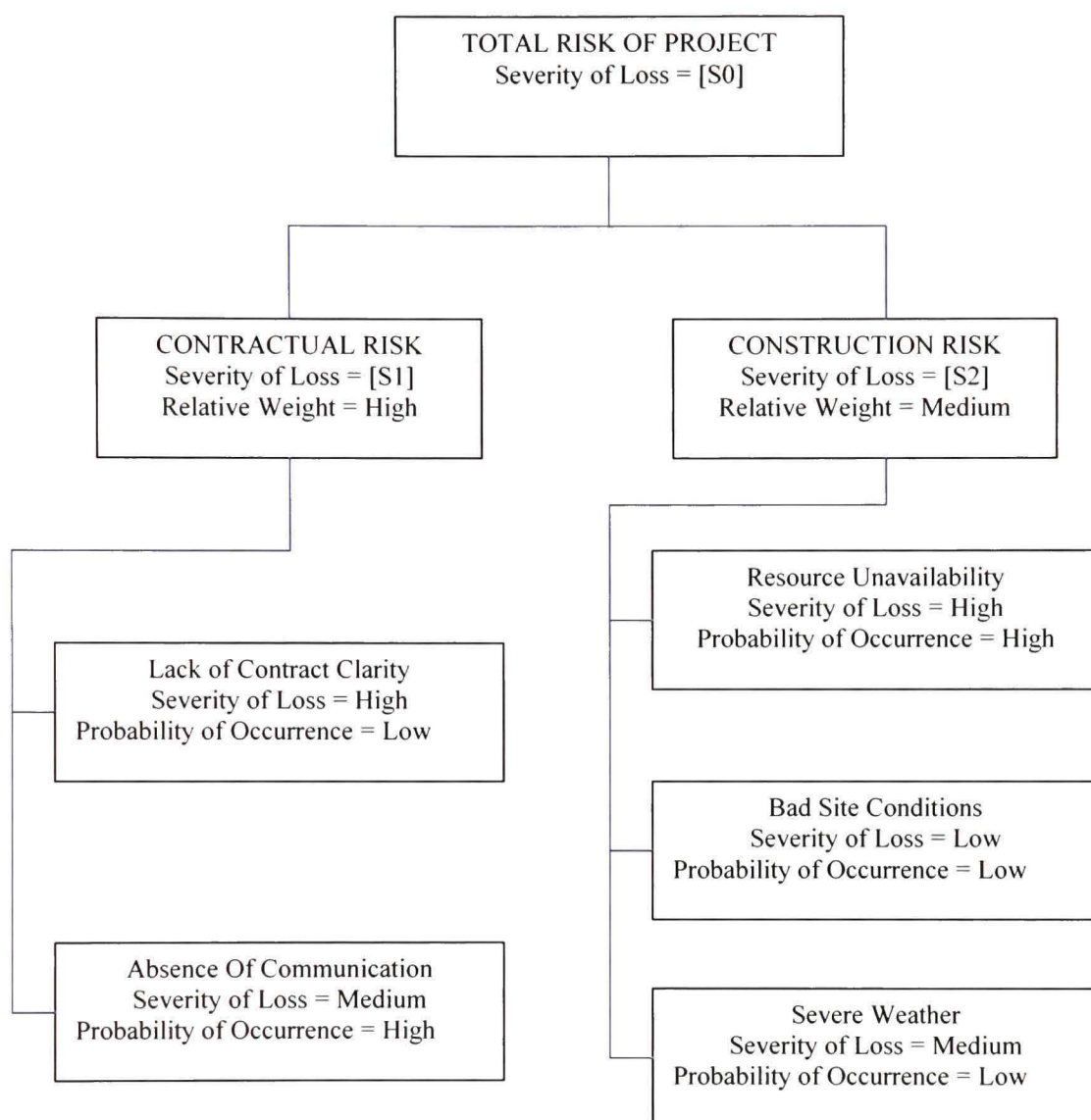


Figure 5.13 Structure de l'analyse des risques
(Tirée de Roozbeh Kangari, et al. May 1987)

Source : Cette figure a été tirée de Roozbeh Kangari, member IEEE, and Leland S. Riggs. May 1987. Construction Risk Assessment by Linguistics, IEEE Transactions on Engineering Management Vol 36, No 2, May 1987.

Dans le modèle présenté sur la figure 5.13, la probabilité et la sévérité du risque ont été évaluées comme étant faibles, moyennes ou élevées. Par exemple, dans le risque de ‘la clarté du contrat’, la sévérité est **élevée**, mais la probabilité que ce risque se matérialise est **faible**.

En faisant recours au calcul mathématique sur les ensembles flous, il est possible de calculer la sévérité de la perte au niveau supérieur comme suit :

$$[R] = \frac{\sum [W_i] \otimes [R_i]}{\sum [W_i]} \quad \text{où } i = 1, n \quad (5.5)$$

Où $[R]$ est un ensemble représentant les valeurs du risque du niveau supérieur;

n est le nombre total des composantes;

$[W_i]$ sont les facteurs de poids du niveau inférieur de la composante i ;

$[R_i]$ la valeur du risque du niveau inférieur de la composante i .

Selon le modèle de la figure 5.13, la sévérité due au risque contractuel $[S_1]$ peut être exprimée comme suit :

$$[S_1] = \frac{\{[H] \otimes [L]\} \oplus \{[M] \otimes [H]\}}{[H] \oplus [L]} \quad (5.6)$$

L'ensemble flou ainsi obtenu doit être exprimé sous forme de variables linguistiques comme « Faible », « Moyen » ou « Élevé ».

5.4.3.3 Approximation linguistique

L'approximation linguistique signifie : trouver l'expression en langage naturel qui décrit avec un maximum de fidélité le risque global du projet. Cette approximation est basée sur des calculs mathématiques en utilisant les opérations ensemblistes définies pour le système.

Donc, le but de cette étape est de trouver une expression en langage naturel (linguistique) appropriée pour les ensembles [S1], [S2] et [S0] qui représente le risque total du projet. Pour cela, on dispose de trois techniques :

- Distance Euclidienne;
- Approximations successives;
- Décomposition en morceaux.

La méthode des distances Euclidiennes est généralement utilisée pour les petits ensembles. Elle sert à calculer la distance entre un ensemble donné et les ensembles représentant les expressions du langage naturel. Donc, la distance entre un ensemble flou X (inconnu) et un ensemble flou A (connu) peut être calculée comme suit :

$$d(X, A) = \left\{ \sum [X(i) - A(i)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \text{où } i = 1, n \quad (5.7)$$

5.4.4 Exemple d'application

L'exemple suivant montre comment le modèle proposé peut être implémenté numériquement. La première étape consiste à identifier les risques sous forme d'un arbre de décision (comme illustré sur la figure 5.13). Ensuite, il faut trouver les expressions du langage naturel et les ensembles flous qui les décrivent. Dans l'exemple qui suit x est limité aux valeurs suivantes $\{0, 1, 2, 3\}$, avec les suppositions suivantes :

$$\text{Faible} = [L] = [0 \mid 1.0, 1 \mid 0.6, 2 \mid 0.2, 3 \mid 0.0]$$

$$\text{Moyen} = [M] = [0 \mid 0.3, 1 \mid 1.0, 2 \mid 1.0, 3 \mid 0.3]$$

$$\text{Élevé} = [H] = [0 \mid 0.0, 1 \mid 0.2, 2 \mid 0.6, 3 \mid 1.0]$$

La figure 5.14 montre les courbes des trois ensembles et leurs intervalles communs.

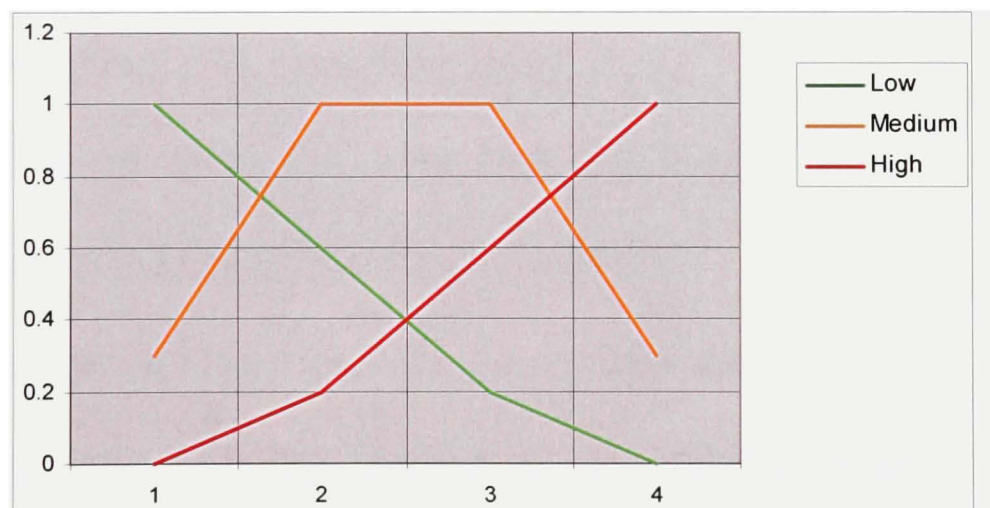


Figure 5.14 Courbes des trois ensembles (Low, Medium, et High)
(Données tirées de Roozbeh Kangari, et al. May 1987)

Source : Cette figure a été construite avec Microsoft Excel en utilisant les données des ensembles flous définissant les gestions mauvaise, moyenne et excellente de l'exemple ci-dessus; tirées de Roozbeh Kangari, member IEEE, and Leland S. Riggs. May 1987. Construction Risk Assessment by Linguistics, IEEE Transactions on Engineering Management Vol 36, No 2, May 1987.

L'évaluation des ensembles de probabilités et de la sévérité pour les niveaux $[S_1]$ et $[S_2]$ peut se faire comme suit :

- Risque du au contrat est

$$[S_1] = \frac{\{[H] \otimes [L]\} \oplus \{[M] \otimes [H]\}}{[H] \oplus [L]} \quad (5.8)$$

- Risque du à la construction est

$$[S_2] = \frac{\{[M] \otimes [L]\} \oplus \{[L] \otimes [L]\} \oplus \{[H] \otimes [H]\}}{[L] \oplus [L] \oplus [H]} \quad (5.9)$$

Appliquons les opérations nécessaires à ces formules :

$$[L] \oplus [H] = [1 \mid 0.2, 2 \mid 0.6, 3 \mid 1.0, 4 \mid 0.6, 5 \mid 0.2]$$

$$[L] \oplus [L] \oplus [H] = [2 \mid 0.2, 3 \mid 0.2, 4 \mid 0.6, 6 \mid 1.0, 7 \mid 0.6, 8 \mid 0.2]$$

$$[H] \oplus [M] = [1 \mid 0.2, 2 \mid 0.3, 3 \mid 0.6, 4 \mid 1.0, 5 \mid 1.0, 6 \mid 0.3]$$

$$[H] \otimes [L] = [0 \mid 1.0, 1 \mid 0.8, 2 \mid 0.6, 3 \mid 0.6, 4 \mid 0.2, 5 \mid 0.2, 6 \mid 0.2]$$

$$[M] \otimes [H] = [0 \mid 0.3, 1 \mid 0.45, 2 \mid 0.6, 3 \mid 1.0, 4 \mid 1.0, 5 \mid 1.0, 6 \mid 1.0, 7 \mid 0.77, 8 \mid 0.54, 9 \mid 0.3]$$

$$[M] \otimes [L] = [0 \mid 0.1, 1 \mid 0.6, 2 \mid 0.6, 3 \mid 0.3, 4 \mid 0.2, 5 \mid 0.2, 6 \mid 0.2]$$

$$[L] \otimes [L] = [0 \mid 1.0, 1 \mid 0.6, 2 \mid 0.2, 3 \mid 0.2, 4 \mid 0.2]$$

$$[H] \otimes [H] = [1 \mid 0.2, 2 \mid 0.2, 3 \mid 0.2, 4 \mid 0.6, 5 \mid 0.6, 6 \mid 0.6, 7 \mid 0.74, 8 \mid 0.87, 9 \mid 1.0]$$

Enfin nous obtenons les résultats de $[S_1]$ et $[S_2]$:

$$[S_1] = [0 \mid 0.3, 1 \mid 1.0, 2 \mid 1.0, 3 \mid 0.6] \quad (5.10)$$

$$[S_2] = [0 \mid 0.0, 1 \mid 1.0, 2 \mid 0.67, 3 \mid 0.34] \quad (5.11)$$

Donc le risque final $[S]$ est :

$$[S] = \frac{\{[S_1] \otimes [H]\} \oplus \{[S_2] \otimes [M]\}}{[H] \oplus [M]}$$

$$[S] = \frac{[1 \mid 0.3, 1 \mid 0.45, 2 \mid 0.6, 3 \mid 1.0, 4 \mid 1.0, 5 \mid 1.0, 6 \mid 1.0, 7 \mid 0.87, 8 \mid 0.73, 9 \mid 0.6]}{[1 \mid 0.2, 2 \mid 0.3, 3 \mid 0.6, 4 \mid 1.0, 5 \mid 1.0, 6 \mid 0.3]}$$

$$[S] = [0 \mid 0.3, 1 \mid 1.0, 2 \mid 0.73, 3 \mid 0.6] \quad (5.12)$$

Une fois, l'ensemble final du risque global est calculé, nous devons traduire cette information en langage naturel, donc les variables linguistiques deviennent :

$$d(S, \text{Faible}) = [(0.3 - 1.0)^2, (1.0 - 0.6)^2, (0.73 - 0.2)^2, (0.6 - 0.0)^2] = 1.14$$

$$d(S, \text{Moyen}) = [(0.3 - 0.3)^2, (1.0 - 1.0)^2, (0.73 - 1.0)^2, (0.6 - 0.3)^2] = 0.40 \quad (5.13)$$

$$d(S, \text{Elevé}) = [(0.3 - 0.0)^2, (1.0 - 0.2)^2, (0.73 - 0.6)^2, (0.6 - 1.0)^2] = 0.95$$

Parmi les ensembles étudiés, nous remarquons que l'ensemble « Moyen » possède la distance la plus proche de l'ensemble [S] avec une distance de 0.40 (équation 5.13). Donc, le risque total pour ce projet est classifié comme Moyen. La figure 5.15 montre la superposition les courbes des ensembles initiaux avec la courbe résultat qui se rapproche le plus de l'ensemble « Moyen ».

Pour plus de précision l'utilisateur peut définir des ensembles avec 10 valeurs et définir d'autres variables linguistiques telles que : « Très Faible », « Faible », « Moyen », « Assez Élevé », et « Élevé ».

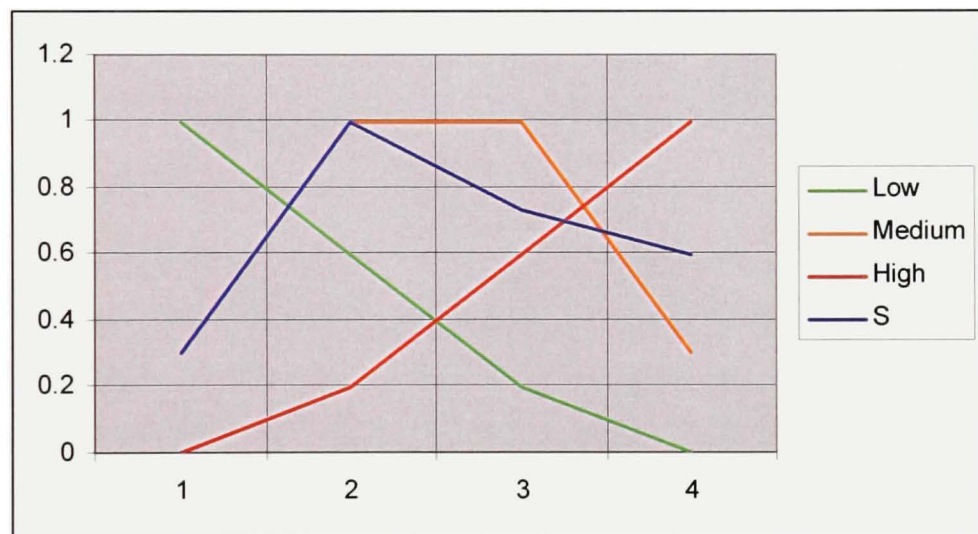


Figure 5.15 Superposition des courbes des risques
Low, Medium, et High avec la courbe résultat
(Données tirées de Roozbeh Kangari, et al. May 1987)

Source : Cette figure a été construite avec Microsoft Excel en utilisant les données des ensembles flous définissant les gestions mauvaise, moyenne, excellente et les données de l'ensemble (S) de l'exemple ci-dessus; tirées de Roozbeh Kangari, member IEEE, and Leland S. Riggs. May 1987. Construction Risk Assessment by Linguistics, IEEE Transactions on Engineering Management Vol 36, No 2, May 1987.

5.4.5 Conclusion

Un des problèmes les plus communs de cette méthode est, comment assigner le degré d'appartenance aux différentes valeurs des variables linguistiques. Il serait très intéressant dans ce cas que l'utilisateur procède à une analyse de sensibilité pour déterminer l'impact de changer le degré d'appartenance des valeurs, pour aboutir à des valeurs se rapprochant le plus de la réalité.

5.5 Évaluation des entrepreneurs selon les critères du client par la méthode PERT (Zedan Hatush, et al. 1997)

La pré-qualification est une étape nécessaire dans l'évaluation des entrepreneurs pour la sélection des soumissions en vue de l'octroi du contrat de construction. L'étape de construction quoiqu'elle présente une étape parmi tant d'autres dans un projet PPP, la réussite de ce dernier dépend de toutes les étapes réunies. C'est dans cette optique que le choix de l'entrepreneur est considéré comme une tâche importante dans la vie d'un projet de construction. Les critères de sélection des entrepreneurs ont fait l'objet de plusieurs études depuis 1976. Cette étude utilise le même principe que la méthode PERT pour les valeurs optimistes, moyennes et pessimistes, mais appliquées, cette fois-ci, sur des critères comme la capacité financière, la performance, etc. afin de calculer la probabilité avec laquelle l'entrepreneur peut répondre aux exigences du client (secteur public).

5.5.1 Les objectifs du client (public)

Les objectifs du client peuvent être catégorisés en deux classes. La classe des objectifs essentiels qui regroupe le coût, le temps et la qualité, et la classe des objectifs secondaires ou opératoires qui regroupe le niveau d'incertitude entourant le coût, le temps et la qualité, ainsi que la flexibilité aux changements, l'allocation des risques, et la capacité de l'entrepreneur à gérer le niveau de complexité du projet.

5.5.2 Critères de sélection des entrepreneurs

Les chercheurs ont établi une liste de critères qui faciliteront la sélection des entrepreneurs durant la phase de pré-qualification ou même la phase d'évaluation des soumissions. Le tableau 5.4 résume les cinq critères principaux pour l'évaluation des entrepreneurs; à savoir :

1. La réputation financière (FS pour Financial Soundness);
2. L'habileté technique (TA pour Technical Ability);
3. Les capacités managériales (MC pour Management Capabilities);

4. La Santé et sécurité (HS pour Health and Safety);
5. La réputation (R pour Reputation).

Tableau 5.4

Principaux critères et sous-critères pour l'évaluation des entrepreneurs
(Tiré de Zedan Hatush, et al. 1997)

Table 1 Main criteria and subcriteria for contractor prequalification and bid evaluation

Financial soundness <i>FS</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Financial stability 2. Credit rating 3. Banking arrangements and bonding 4. Financial status
Technical ability <i>TA</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Experience 2. Plant and equipment 3. Personnel 4. Ability
Management capability <i>MC</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Past performance and quality 2. Project management organization 3. Experience of technical personnel 4. Management knowledge
Health and safety <i>HS</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Safety 2. Experience modification rating (EMR) 3. Occupational Safety and Health Administration (OSHA) incidence rate 4. Management safety accountability
Reputation <i>R</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Past failures 2. Length of time in business 3. Past client/contractor relationship 4. Other relationships

Source : Ce tableau a été tiré de Zedan Hatush and Martin Skitmore. 1997. Assessment and evaluation of contractor data against client goals using PERT approach, Department of Surveying of Saltford, UK.

Ces principaux critères sont à leur tour divisés en plusieurs sous-critères qui vont permettre l'évaluation des critères de niveau supérieur. Ces critères vont se voir attribués des poids selon leurs importances dans le projet et selon les différentes expériences des gestionnaires.

5.5.3 Évaluation des critères entrepreneurs versus client avec la méthode PERT

Une étude menée par Hatush et Skitmore en 1996 a établi la relation entre les critères des clients et ceux des entrepreneurs basée sur la méthode Delphi sous forme de relation probabiliste. Pour le modèle PERT utilisé, les suppositions suivantes ont été faites :

- Les objectifs du client (temps, coût et qualité) sont des variables aléatoires pour chaque critère entrepreneur;
- Les variables aléatoires représentant les objectifs du client peuvent être converties en des distributions de probabilités continues quand elles sont additionnées ensemble;
- La somme pondérée des moyennes attendues donne la moyenne attendue des objectifs du client, décrits par une distribution, dont l'écart type est la racine carrée de la somme des variances de tous les critères de l'entrepreneur.

Les poids des critères de sélection de l'entrepreneur sont montrés dans le tableau 5.5. Ces poids sont obtenus par des entrevues avec des professionnels de la construction ayant beaucoup d'expérience dans la pré-qualification et l'évaluation des soumissions.

Tableau 5.5

Les poids des 20 critères de sélection des entrepreneurs
(Tiré de Zedan Hatush, et al. 1997)

Table 2 The weights of the 20 criteria

Criteria	Subcriteria	Weight
Financial soundness <i>FS</i>	1. Financial stability	0.051 75
	2. Credit rating	0.041 00
	3. Banking arrangements and bonding	0.045 75
	4. Financial status	0.066 50
Technical ability <i>TA</i>	1. Experience	0.072 50
	2. Plant and equipment	0.036 25
	3. Personnel	0.078 75
	4. Ability	0.075 00
Management capability <i>MC</i>	1. Past performance and quality	0.044 375
	2. Project management organization	0.040 625
	3. Experience of technical personnel	0.046 250
	4. Management knowledge	0.043 750
Health and safety <i>HS</i>	1. Safety	0.018 875
	2. Experience modification rating (EMR)	0.016 875
	3. Occupational Safety and Health Administration (OSHA) incidence rate	0.014 500
	4. Management safety accountability	0.019 750
Reputation <i>R</i>	1. Past failures	0.068 125
	2. Length of time in business	0.085 000
	3. Past client/contractor relationship	0.086 250
	4. Other relationships	0.048 125

Source : Ce tableau a été tiré de Zedan Hatush and Martin Skitmore. 1997. Assessment and evaluation of contractor data against client goals using PERT approach, Department of Surveying of Saltford, UK.

Les experts ont rempli des questionnaires dans lesquels ils ont évalué les cinq critères principaux en pourcentage, et les vingt sous-critères aussi en pourcentage au sein du même critère principal. Ceci a été fait d'une manière à ce que la somme des pourcentages des critères principaux donne 100%, et que la somme des pourcentages des sous-critères soit aussi égale à 100%.

Exemple :

Le critère principal Réputation Financière a été évalué à 20 %. Les sous-critères de la Réputation Financière ont été évalués comme sur le tableau 5.6 :

Tableau 5.6

Calcul des poids des sous-critères dans l'ensemble des critères principaux
(Tiré de Zedan Hatush, et al. 1997)

		Critère principal Réputation Financière	
Sous-Critères de la Réputation Financière	Pourcentage Sous-Critère Dans Le Critère Principal (RF)	Pourcentage du Critère Principal dans l'ensemble des Critères Principaux	Pourcentage des Sous-Critères dans l'ensemble des Critères Principaux
Stabilité Financière	0.20	0.20	$0.20 \times 0.20 = 0.040$
Valeur du Crédit	0.20	0.20	$0.20 \times 0.20 = 0.040$
Arrangement Bancaire	0.20	0.20	$0.20 \times 0.20 = 0.040$
État Financier	0.40	0.20	$0.40 \times 0.20 = 0.080$
Total	1.00	-	0.20

Source : Ce tableau a été adapté des données tirées de Zedan Hatush and Martin Skitmore. 1997. Assessment and evaluation of contractor data against client goals using PERT approach, Department of Surveying of Saltford, UK.

La méthode PERT suggère les équations suivantes avec la distribution Bêta :

Le temps attendu est

$$Te = (a + 4 \times m + b) / 6$$

L'écart type du temps attendu est

$$\sigma = (b - a) / 6 = \sqrt{V}$$

La variance du temps attendu est

$$V = ((b - a) / 6)^2 = \sigma^2$$

(5.14)

Selon l'exemple précédent, nous pouvons écrire les équations de calcul des objectifs du client suivantes, en fonction des critères de sélection des entrepreneurs :

Pour l'objectif temps, nous avons :

$$AE_t = \Sigma (W \times E_t)$$

$$V [AE_t] = \Sigma (W \times \sigma_t)^2$$

$$\sigma [AE_t] = \sqrt{V [AE_t]}$$

(5.15)

Pour l'objectif coût, nous avons :

$$AE_c = \Sigma (W \times E_c)$$

$$V [AE_c] = \Sigma (W \times \sigma_c)^2$$

$$\sigma [AE_c] = \sqrt{V [AE_c]}$$

(5.16)

Pour l'objectif qualité, nous avons :

$$AE_q = \Sigma (W \times E_q)$$

$$V [AE_q] = \Sigma (W \times \sigma_q)^2$$

$$\sigma [AE_q] = \sqrt{V [AE_q]}$$

(5.17)

Où :

AE_t, AE_c, AE_q = représentent les agrégats de la moyenne attendue de tous les critères pour le temps, le coût et la qualité respectivement.

$V [AE_t], V [AE_c], V [AE_q]$ = représentent les variances des agrégats moyens attendus du temps, coût et qualité respectivement.

$\sigma [AE_t], \sigma [AE_c], \sigma [AE_q]$ = représentent les agrégats des écarts types du temps, coût et qualité respectivement.

W = représente le poids de chaque critère.

E_t, E_c, E_q = représentent les pourcentages respectifs des trois objectifs dans le projet pour chaque entrepreneur.

Pour illustrer cette approche, prenons l'exemple de la 'Stabilité Financière' et le 'Taux de Crédit'. Après plusieurs investigations, il s'est avéré que l'entrepreneur A est financièrement stable, mais il possède un faible taux de crédit. Les valeurs, pessimistes (P), moyenne (M) et optimiste (O) de l'effet de ces critères sur le temps, le coût et la qualité, sont montrées sur les tableaux suivants :

Tableau 5.7

Estimations des critères client pour le critère entrepreneur stabilité financière
(Tiré de Zedan Hatush, et al. 1997)

	Financièrement Stable		
	Pessimiste	Moyenne	Optimiste
	P%	M%	O%
Temps	110	100	95
Coût	105	100	95
Qualité	95	100	110

Source : Ce tableau a été tiré de Zedan Hatush and Martin Skitmore. 1997. Assessment and evaluation of contractor data against client goals using PERT approach, Department of Surveying of Saltford, UK.

Tableau 5.8

Estimations des critères client pour le critère entrepreneur taux de crédit faible
(Tiré de Zedan Hatush, et al. 1997)

	Faible Taux de Crédit		
	Pessimiste	Moyenne	Optimiste
	P%	M%	O%
Temps	120	105	100
Coût	125	110	110
Qualité	85	95	100

Source : Ce tableau a été tiré de Zedan Hatush and Martin Skitmore. 1997. Assessment and evaluation of contractor data against client goals using PERT approach, Department of Surveying of Saltford, UK.

Le 100% présente le niveau cherché par chaque objectif du client. Donc l'estimation moyenne, du temps d'achèvement d'un entrepreneur 'Financièrement Stable' avec un taux de 100%, est prévue pour atteindre l'objectif temps du client à 100%. Mais l'entrepreneur à un 'Faible Taux de Crédit' avec un temps moyen d'achèvement de 105% est prévu pour accuser un retard de 5%.

Les valeurs moyennes attendues du temps, du coût et de la qualité sont calculées selon la méthode PERT comme suit (groupe d'équation (5.14)) :

Stabilité Financière

Temps

$$E_t = (110 + 4 \times 100 + 95) / 6 = 100.8$$

$$V_t = ((110 - 95) / 6)^2 = 6.25$$

$$\sigma_t = \sqrt{6.25} = 2.5$$

Coût

$$E_c = (105 + 4 \times 100 + 95) / 6 = 100.0$$

$$V_c = ((105 - 95) / 6)^2 = 2.79$$

$$\sigma_c = \sqrt{2.79} = 1.67$$

Qualité

$$E_q = (95 + 4 \times 100 + 110) / 6 = 100.8$$

$$V_q = ((110 - 95) / 6)^2 = 6.25$$

$$\sigma_q = \sqrt{6.25} = 2.5$$

Taux de Crédit

Temps

$$E_t = (120 + 4 \times 105 + 100) / 6 = 106.6$$

$$V_t = ((120 - 100) / 6)^2 = 11.1$$

$$\sigma_t = \sqrt{11.1} = 3.33$$

Coût

$$E_c = (125 + 4 \times 110 + 110) / 6 = 112.5$$

$$V_c = ((125 - 110) / 6)^2 = 6.25$$

$$\sigma_c = \sqrt{6.25} = 2.25$$

Qualité

$$E_q = (85 + 4 \times 95 + 100) / 6 = 94.1$$

$$V_q = ((100 - 85) / 6)^2 = 6.25$$

$$\sigma_q = \sqrt{6.25} = 2.5$$

Supposons que les poids calculés pour la ‘Stabilité Financière’ et le ‘Taux de Crédit’ sont 0.8 et 0.2 respectivement ($0.8 + 0.2 = 1$). Donc, les agrégats de la moyenne attendue, de la variance et de l’écart type pour les différents objectifs du client sont (groupe d’équation 5.15, 5.16 et 5.17) :

$$\begin{aligned} AE_t &= (0.8 \times 100.8 + 0.2 \times 106.6) = 101.96 \\ V[AE_t] &= (0.8 \times 2.5)^2 + (0.2 \times 3.33)^2 = 4.44 \\ \sigma[AE_t] &= \sqrt{4.44} = 2.1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} AE_c &= (0.8 \times 100.0 + 0.2 \times 112.5) = 102.50 \\ V[AE_c] &= (0.8 \times 1.67)^2 + (0.2 \times 2.5)^2 = 2.03 \\ \sigma[AE_c] &= \sqrt{2.03} = 1.42 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} AE_q &= (0.8 \times 100.8 + 0.2 \times 94.1) = 99.46 \\ V[AE_q] &= (0.8 \times 2.5)^2 + (0.2 \times 2.5)^2 = 4.25 \\ \sigma[AE_q] &= \sqrt{4.25} = 2.06 \end{aligned}$$

En résumé, l’entrepreneur A est prévu d’avoir les agrégats suivants :

$AE_t = 102$	$V[AE_t] = 4.44$	$\sigma[AE_t] = 2.1$	(5.18)
$AE_c = 102.5$	$V[AE_c] = 2.03$	$\sigma[AE_c] = 1.42$	
$AE_q = 99.46$	$V[AE_q] = 4.25$	$\sigma[AE_q] = 2.06$	

D’après les résultats obtenus l’entrepreneur A est attendu d’avoir :

- un dépassement dans le temps avec une moyenne de 2% et une variance de 4.44;
- un dépassement du coût avec une moyenne de 2.5% et une variance de 2.03;
- une production de qualité inférieure au standard exigé avec 0.54% moins que la moyenne, mais avec une variance de 4.25.

5.5.4 Méthodologie d'évaluation

La figure 5.16 montre comment se fait l'évaluation des soumissions. Les critères des entrepreneurs du tableau 5.9 ont été évalués pour quatre entrepreneurs (A, B, C, D). L'influence de ces critères sur le temps, le coût et la qualité a été calculée en utilisant la méthode PERT décrite précédemment.

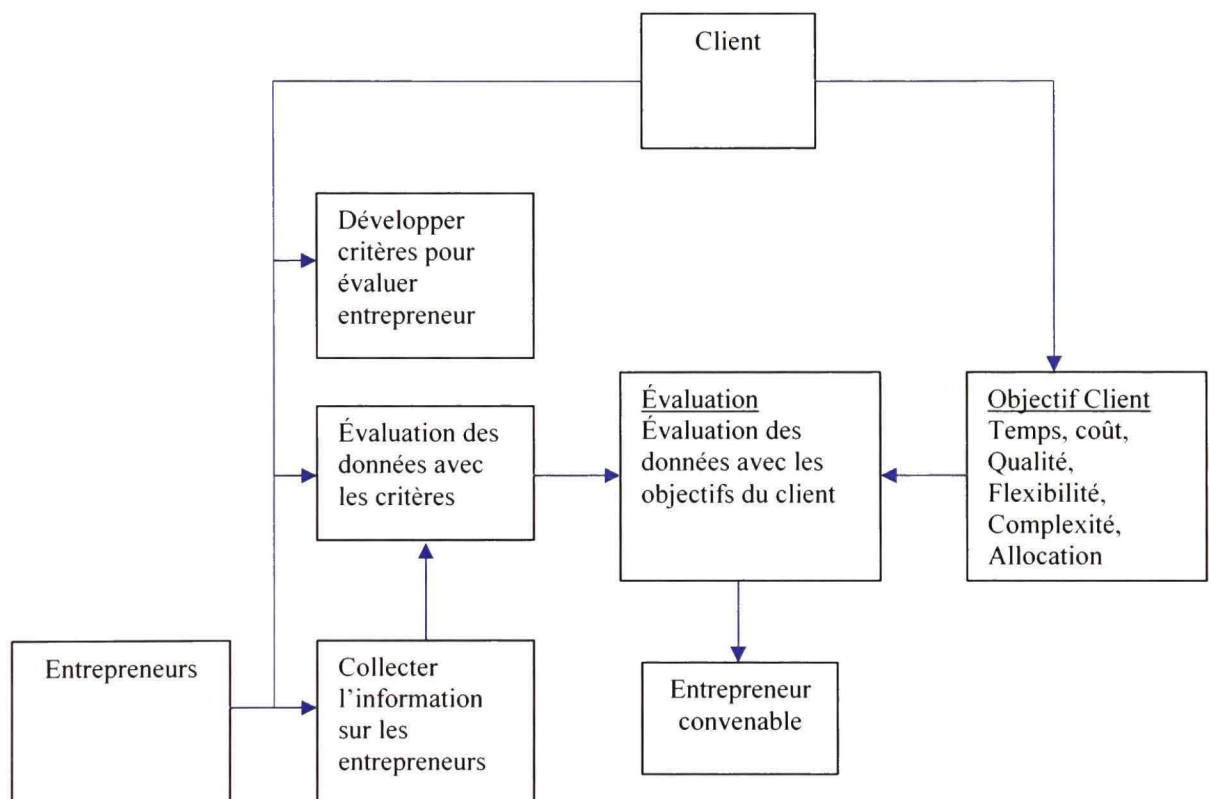


Figure 5.16 Méthodologie d'évaluation des soumissions
(Tirée de Zedan Hatush, et al. 1997)

Source : Cette figure a été tirée de Zedan Hatush and Martin Skitmore. 1997. Assessment and evaluation of contractor data against client goals using PERT approach, Department of Surveying of Saltford, UK.

Les agrégats moyens attendus, les variances et les écarts types pour les trois principaux critères du client (temps, coût et qualité) sont montrés dans le tableau 5.9.

Tableau 5.9

Moyenne attendue, variance et écart type des entrepreneurs A, B, C et D
pour les objectifs du client.
(Tiré de Zedan Hatush, et al. 1997)

Objectif Client	Paramètre	A	B	C	D
Temps	AE_t	108	102	106	112
	$V [AE_t]$	4.84	7.84	3.61	6.25
	$\sigma [AE_t]$	2.2	2.8	1.9	2.5
Coût	AE_c	106	110	102	104
	$V [AE_c]$	3.57	4.84	4.41	3.24
	$\sigma [AE_c]$	1.89	2.2	2.1	1.8
Qualité	AE_q	99	98	92	100
	$V [AE_q]$	4.84	6.25	7.29	4.84
	$\sigma [AE_q]$	2.2	2.5	2.7	2.2

Source : Ce tableau a été tiré de Zedan Hatush and Martin Skitmore. 1997. Assessment and evaluation of contractor data against client goals using PERT approach, Department of Surveying of Saltford, UK.

Résultats :

Le temps maximum attendu (12% de dépassement) se trouve chez l'entrepreneur D :

$$(112 - 100 = 12\%, \sigma = 2.5);$$

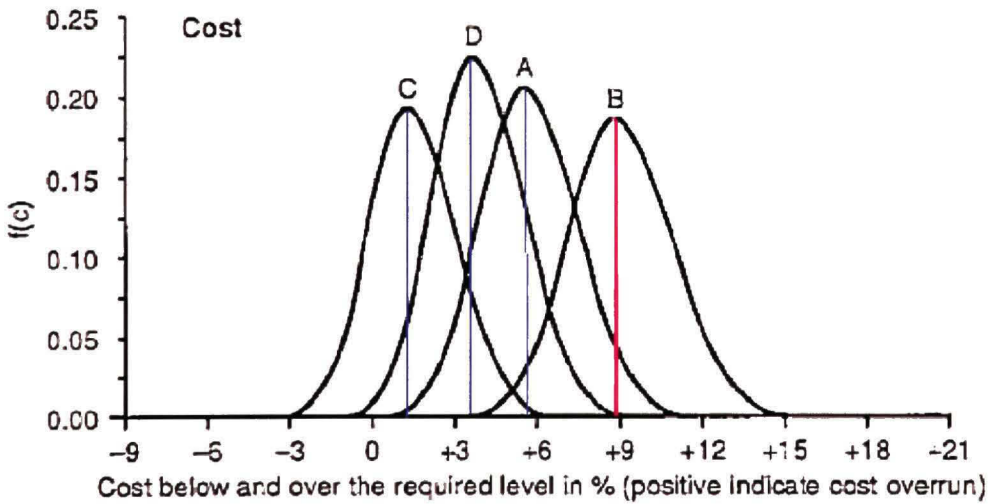
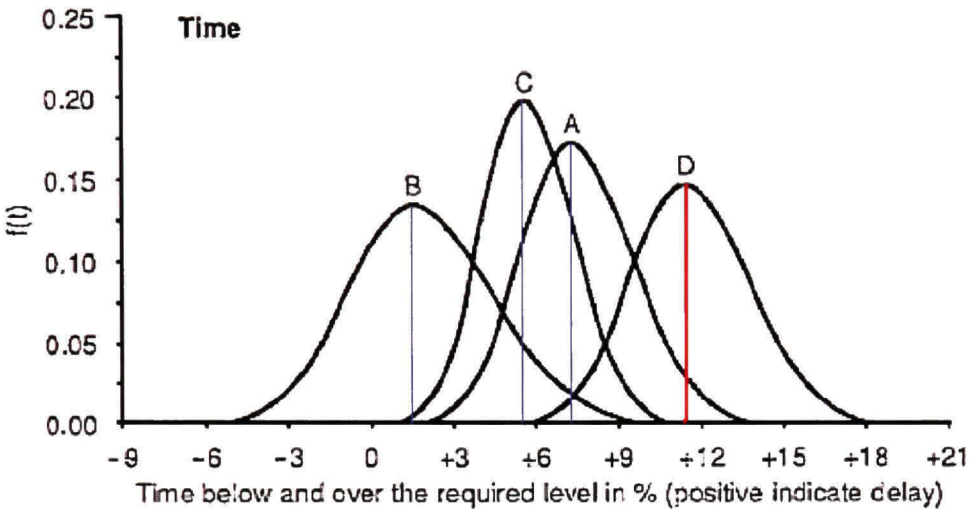
Le coût maximum attendu (10% de dépassement) se trouve chez l'entrepreneur B :

$$(110 - 100 = 10\%, \sigma = 2.2);$$

La qualité minimale attendue (8% sous la normale) se trouve chez l'entrepreneur C :

$$(100 - 92 = 8\%, \sigma = 2.7).$$

La figure 5.17 montre les fonctions normales de densité de probabilité pour les quatre entrepreneurs en considérant les trois objectifs essentiels du client (Temps, Coût et Qualité).



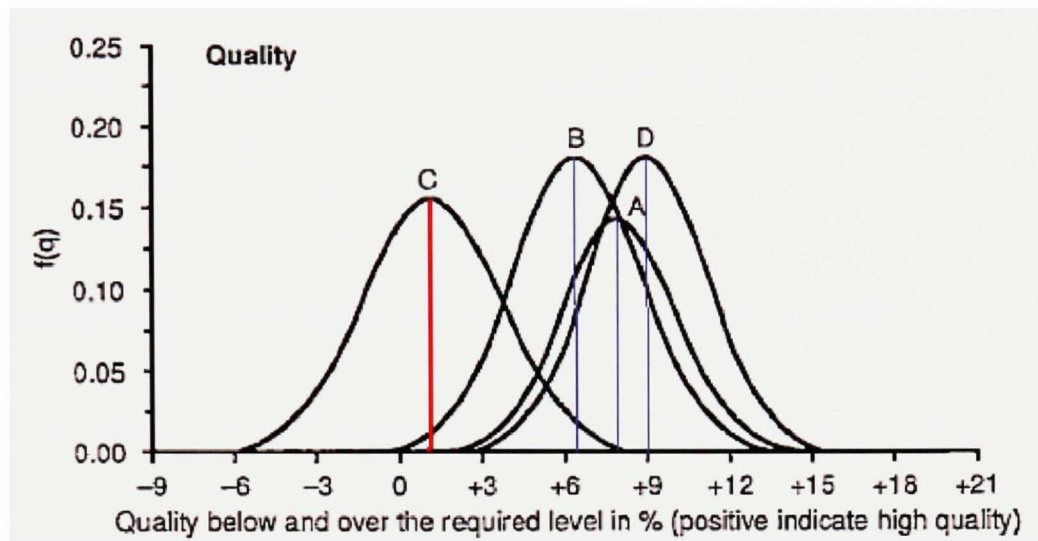


Figure 5.17 Les courbes des distributions normales des entrepreneurs A, B, C, D
(Tirée de Zedan Hatush, et al. 1997)

Source : Cette figure a été tirée de Zedan Hatush and Martin Skitmore. 1997. Assessment and evaluation of contractor data against client goals using PERT approach, Department of Surveying of Saltford, UK.

Ces courbes de probabilités peuvent être utilisées pour retrouver la probabilité qu'une valeur soit inférieure ou égale à une valeur donnée (SMv). Cette probabilité (z) est égale à la surface sous la courbe à gauche de la valeur SMv telle que :

$$z = \frac{\text{La valeur } SMv - \text{La valeur moyenne attendue de } T \text{ ou } C \text{ ou } Q}{\text{L'écart type de } T \text{ ou } C \text{ ou } Q} \quad (5.19)$$

Où : T = Temps,
 C = Coût,
 Q = Qualité.

Exemple :

La probabilité que entrepreneur A va avoir un retard de 10 % ou moins est :

$$z = (10 - 8) / 2.2 = 0.909$$

(5.20)

En utilisant les tables statistiques, la surface sous la courbe est = 0.8189.

Donc, la probabilité que l'entrepreneur A accuse un retard de 10% est 0.8189.

5.5.5 Analyse du risque et conclusion

Cette méthode sert à déterminer la probabilité avec laquelle un entrepreneur dépasse le coût, accuse un retard dans la livraison ou réalise une moindre qualité. Ceci est équivalent à la surface sous la courbe de probabilité normale à $SMz = 0$.

Si le coût, le temps et la qualité du projet ont une importance égale, alors la plus petite somme des risques indique le meilleur entrepreneur. Si par contre ces objectifs ont des importances différentes, alors la somme doit être pondérée (utilisation du facteur poids).

Donc selon l'importance de l'objectif du projet fixé par le client, les entrepreneurs sont classés en ordre de priorité. La figure 5.18 montre le classement des entrepreneurs selon le seuil de confiance que le client impose pour le choix du meilleur entrepreneur. D'après cette figure, l'entrepreneur le plus proche du seuil de confiance (ligne en rouge) est celui qui répond le plus aux aspirations du client (espérance mathématique).

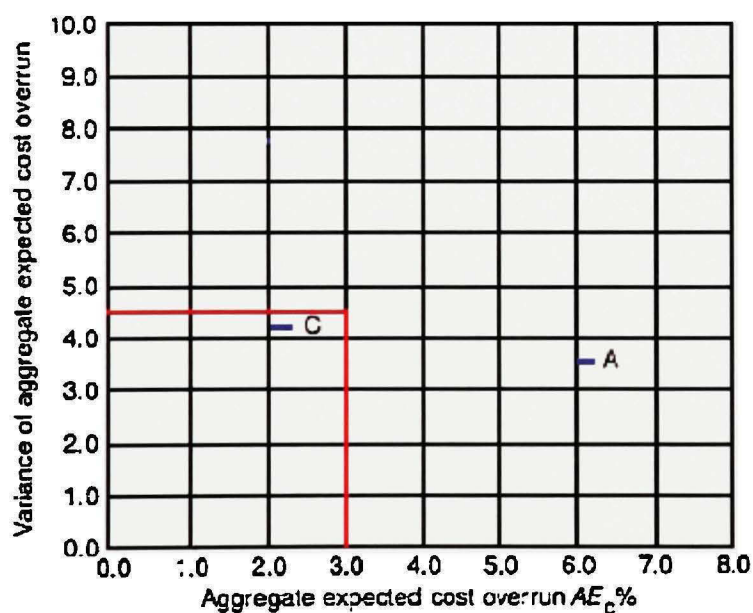
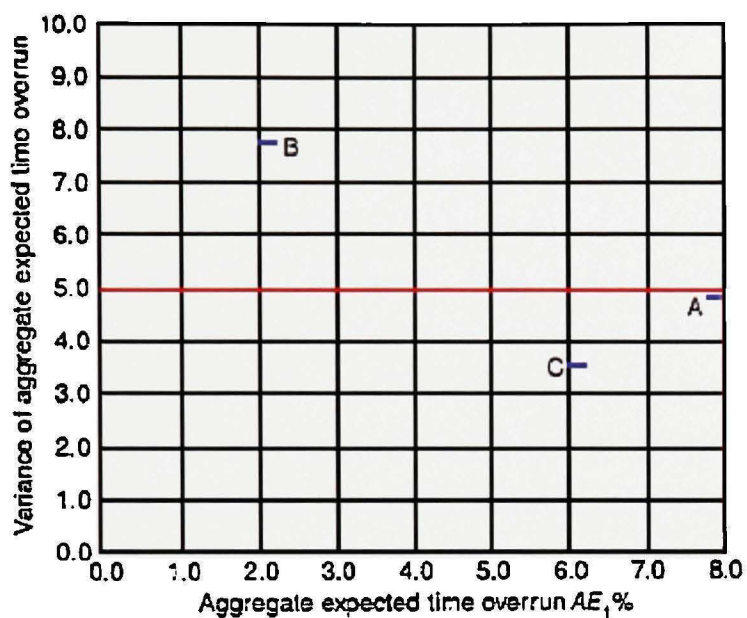


Figure 5.18 Le temps et le dépassement du coût attendu versus les variances des entrepreneurs A, B, C et D
(Tirée de Zedan Hatush, et al. 1997)

Source : Cette figure a été tirée de Zedan Hatush and Martin Skitmore. 1997. Assessment and evaluation of contractor data against client goals using PERT approach, Department of Surveying of Saltford, UK.

5.6 Sélection et Application des outils de gestion des risques aux projet PPPs

Prasanta K. Dey et Stephen O. Ogunlana (2004) ont donné une synthèse des méthodes de gestion des risques dans les projets PPPs et leurs applications. La catégorisation des risques a été faite en risques globaux et risques spécifiques. Idéalement, une analyse complète de risques nécessite l'étude de tous les risques d'un projet un par un. Mais cette solution coûte trop cher à la compagnie en argent et dure plus longtemps. Les auteurs proposent d'identifier les risques communs, dans les PPPs, d'une manière générale (risques globaux), et procéder après à l'analyse des risques élémentaires pour chaque projet en particulier. La notion de risques communs permet aux gestionnaires de gagner du temps en évitant de faire l'analyse complète de tous les risques d'un projet quelconque. Cela revient à dire que l'identification des risques doit être faite d'une manière descendante pour pouvoir cerner tous les risques possibles. Un exemple pratique de l'application de cette méthode est de définir :

- « **les risques dans les projets PPPs** » comme une base pour tous les projets PPPs,
- « **les risques dans les projets PPPs de transport** » comme des risques élémentaires et communs à tous les projets de transport dans les PPPs, et enfin
- « **les risques dans les projets PPPs pour les autoroutes** » peut être utilisée comme un autre niveau de focalisation sur les risques spécifiques seulement pour les autoroutes dans les PPPs (Prasanta K. Dey, et al. 2004).

De cette manière, les gestionnaires peuvent avoir des listes prédéfinies de vérification (check-list) des risques qui vont permettre de gagner beaucoup de temps et d'argent pour tous les partenaires d'un projet PPP (Voir figure 5.19).

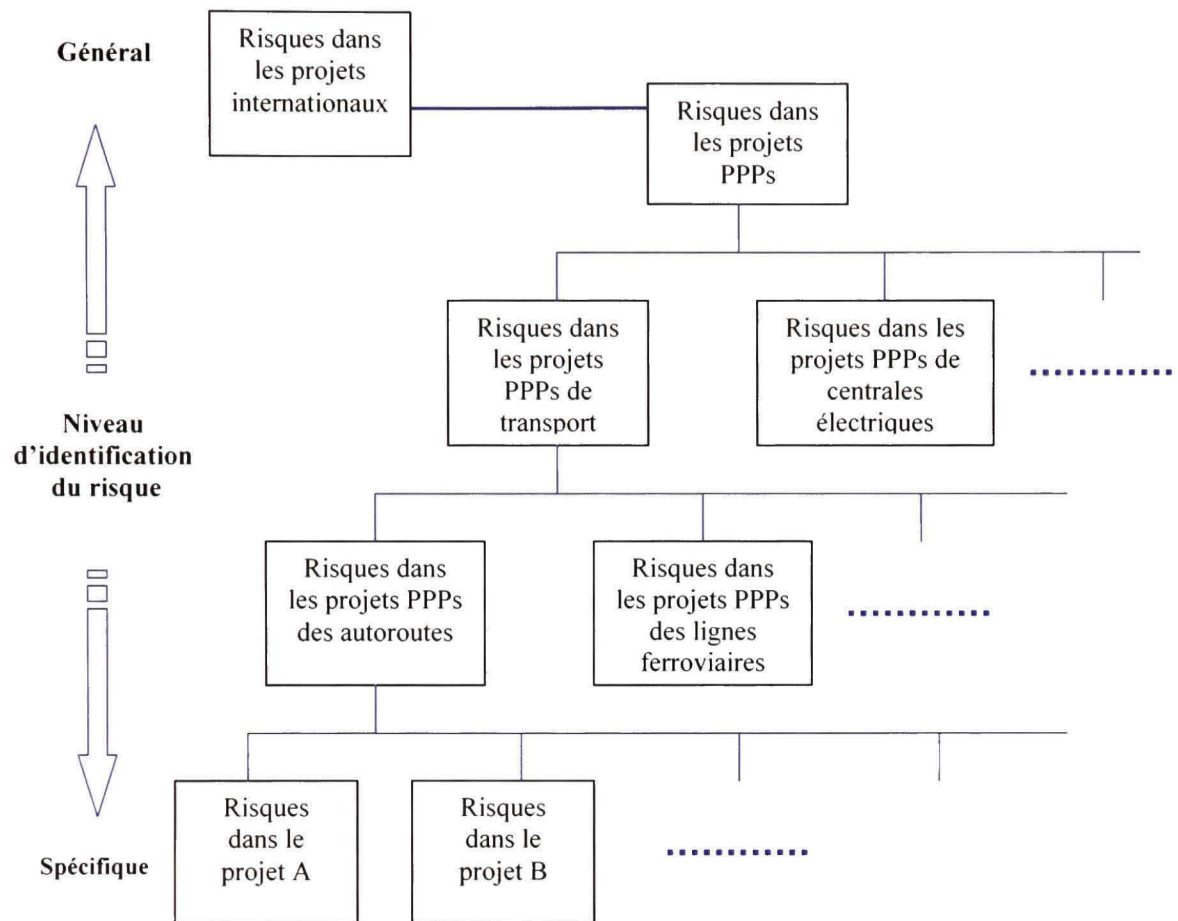


Figure 5.19 Niveaux d'identification des risques dans les PPPs
(Tirée de Prasanta K. Dey, et al. 2004)

Source : Cette figure a été tirée de Prasanta K. Dey and Stephen O. Ogunlana. 2004. Selection and application of risk management tools and techniques for build-operate-transfer projects, *Industrial Management & Data Systems*, Volume 104- Number 4 – 2004.

5.6.1 Préférence des méthodes par type d'intervenant

Toujours selon l'article de Prasanta et Ogunlana, les grands intervenants dans un projet PPP sont le secteur public (institutions gouvernementales), les fournisseurs de fonds (prêteurs, investisseurs), et le promoteur (compagnie de réalisation). Chacun de ces intervenants a ses propres intérêts et motivations :

5.6.1.1 Le gouvernement

Le secteur public s'intéresse à faire du bénéfice et à économiser de l'argent, donc, il cherche toujours une valeur monétaire. Cette orientation de calcul des coûts sur une longue période incluant les taux d'inflation et la situation économique du pays signifie que le recours à la simulation est nécessaire, ce qui peut être réalisé par la méthode Monte-Carlo et la méthode de sensibilité (Prasanta K. Dey, et al. 2004).

5.6.1.2 Les fournisseurs de fonds

Les deux importants fournisseurs de fonds sont les prêteurs (banques) et les investisseurs qui s'intéressent au flux monétaire. Les prévisions du flux monétaire utilisent la simulation par Monte-Carlo et la méthode de sensibilité. La méthode des ensembles flous peut aussi être utilisée pour le test de la sensibilité (Prasanta K. Dey, et al. 2004).

5.6.1.3 Le promoteur

Les promoteurs s'intéressent au délai d'achèvement, les dépassements des coûts prévus et les risques propres à la phase d'exploitation. Ils doivent prédire le flux de données, ce qui peut être fait par la méthode Monte-Carlo, la méthode de sensibilité et même les réseaux de neurones. Pour les temps d'achèvement, la méthode PERT et les ensembles flous peuvent aussi être utilisés (Prasanta K. Dey, et al. 2004).

La figure 5.20 montre un schéma conçu par Prasanta K. Dey et Stephen O. Ogunlana pour la sélection d'une ou plusieurs méthodes d'analyse de risques selon la nature du risque à analyser.

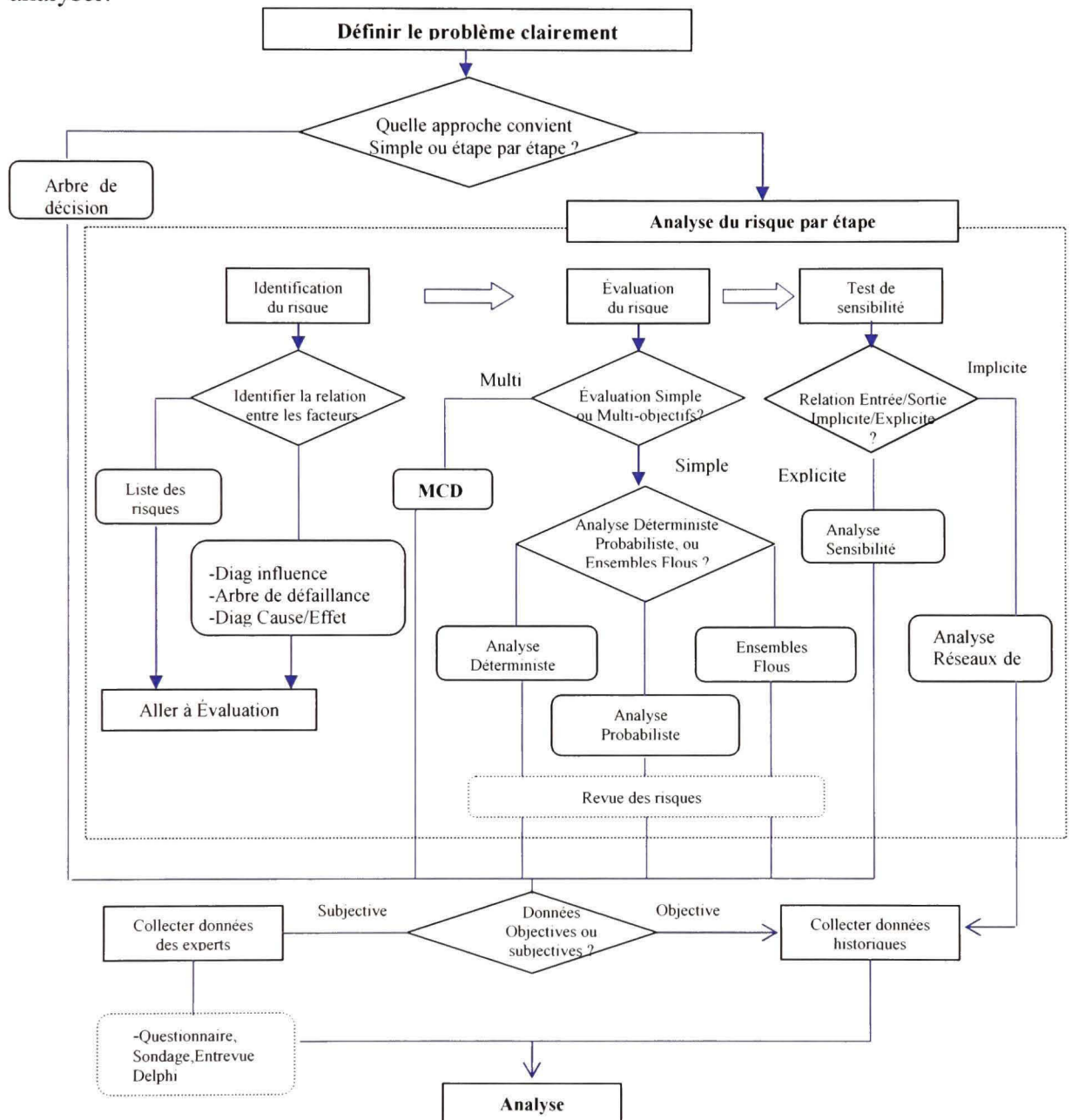


Figure 5.20 Modèle pour la sélection de méthodes d'analyse des risques
(Tirée de Prasanta K. Dey, et al. 2004)

Source : Cette figure a été tirée de Prasanta K. Dey and Stephen O. Ogunlana. 2004. Selection and application of risk management tools and techniques for build-operate-transfer projects, Industrial Management & Data Systems, Volume 104- Number 4 – 2004.

5.7 Conclusion

Dans ce chapitre, quelques applications des méthodes étudiées ont été présentées pour montrer l'applicabilité réelle des calculs aux différents types de projets et aux différents types de risques. Nous remarquons que l'application ou la projection des concepts théoriques sur des exemples réels ne se fait pas toujours de la même manière. Par exemple, la méthode PERT qui est censée être appliquée uniquement pour la détermination du temps d'achèvement a été utilisée pour la sélection des entrepreneurs en appliquant le même principe de calcul pour l'estimation de la qualité, du temps d'achèvement et du coût de réalisation. La méthode des ensembles flous a, aussi, subi plusieurs adaptations pour son application sur des cas réels d'analyse de risque, et l'étude menée par Hatush et Skitmore (1996) présentée, dans ce chapitre, montre un exemple de son application. Plusieurs autres recherches ont essayé de faire leurs propres projections et interprétations du principe de la méthode Fuzzy sets sur différents cas de PPPs et différents types de risques. Enfin, un résumé de des applications des méthodes d'évaluation des risques dans les projets PPPs a été présenté, à travers les études précédentes.

CHAPITRE 6

RÉSULTATS DE LA RECHERCHE

À la lumière de la recherche faite, nous avons constaté que les trois grands partenaires d'un projet PPP (gouvernement, promoteur et prêteurs) se sentent plus en sécurité si les risques du projet sont clairement définis et leurs impacts et étendue sont correctement estimés à travers des simulations utilisant plusieurs méthodes qui convergent vers un même résultat. Les gouvernements et les instances financières (prêteurs de fond) sont attirés par les compagnies qui montrent une meilleure maîtrise et analyse des risques par l'illustration de tous les scénarios possibles. De leurs côtés, les gouvernements et prêteurs doivent faire leurs propres analyses des risques pour pouvoir négocier les différentes possibilités d'allocation et d'arriver à un terrain d'entente là où tous les partenaires trouveront leurs comptes.

De ce fait, nous pouvons conclure que le succès d'un projet PPP dépend de trois facteurs essentiels : la connaissance du projet, la connaissance approfondie des méthodes d'analyses et la connaissance de tous les risques courus.

1. Connaissance du projet : une connaissance partielle du projet conduit à une omission de certains de ses aspects qui se transformeront par la suite (après le démarrage du projet) à des risques potentiels et qui contribueront à l'échec du projet;
2. Connaissance du risque : le risque est un autre facteur primordial dans le succès d'un projet PPP. Car un risque non identifié n'est jamais traité, et l'ignorance de l'existence d'un risque ou de sa nature se traduit, souvent, par un manque de visibilité ou d'une sous-estimation de son impact contribuant ainsi à l'échec du projet lui-même. D'après la recherche faite nous pouvons également ajouter (Prasanta 2004, Robert 1997, UNIDO 1996) que la classification du risque est très importante dans la vie d'un projet, car savoir qu'un risque est global ou spécifique, statique ou dynamique, créé par le gouvernement ou par le privé, etc. peut aider énormément dans son traitement en tenant compte

évidemment de l'effet cumulatif engendré par son interaction avec les autres risques (facteur de corrélation);

3. Connaissance des méthodes d'analyses : la maîtrise des méthodes d'analyses permet la sélection et l'utilisation convenable de la meilleure méthode pour un risque donné selon le contexte, la situation et la phase du projet. Cela dit, une erreur dans l'utilisation de la méthode (erreur dans la sélection de la méthode, erreur dans le choix des paramètres, erreur dans l'utilisation de la méthode, etc.) peut conduire à des résultats diamétralement opposés à ce que la réalité du risque étudié exige.

C'est dans cette optique et en se basant sur les recherches menées que nous proposons un modèle inspiré par les différentes tendances des articles. Ce modèle se voit être un modèle d'aide à la sélection des méthodes d'analyse et à la hiérarchisation des risques dans les projets PPPs (voir figure 6.1).

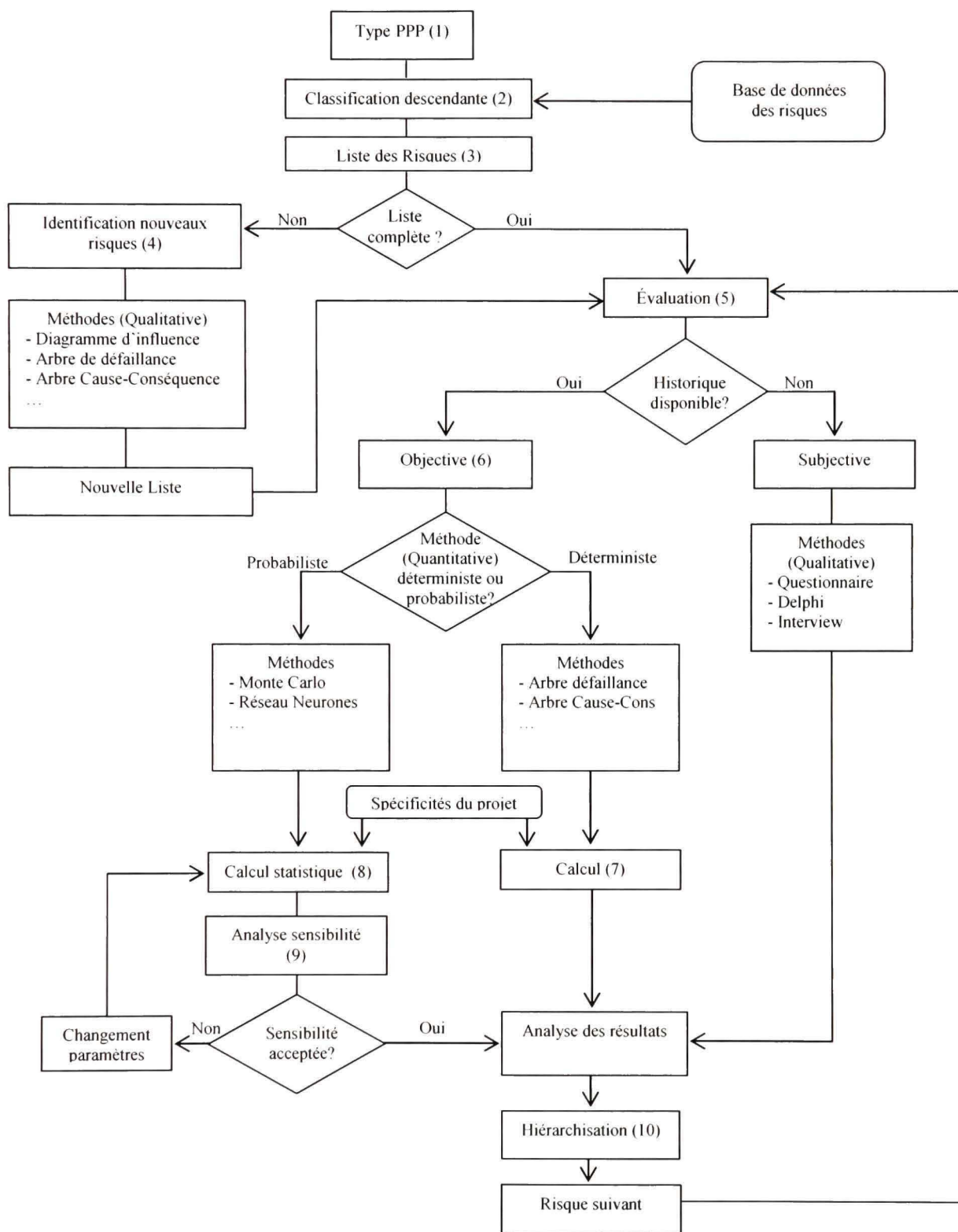


Figure 6.1 Modèle d'aide à la hiérarchisation des risques dans les PPPs

Comme présenté dans le diagramme ci-dessus, le modèle propose de s'appuyer sur une base de données composée des risques potentiels aux projets PPPs. Après la classification et l'étude des risques, le gestionnaire peut déterminer si les risques du projet ont été tous identifiés :

- Si la liste des risques identifiés est jugée incomplète, le gestionnaire a l'obligation de définir les autres risques en se basant sur des méthodes appropriées afin d'aboutir à une liste plus exhaustive;
- Si la liste des risques identifiés est jugée complète, le gestionnaire procèdera à une évaluation en fonction de l'historique des projets similaires, si disponible. C'est en effet la disponibilité de l'historique qui tranchera sur la méthode à suivre, objective ou subjective.

Après la définition de chaque risque, c'est au tour de l'analyse. Dans ce contexte, c'est la nature des informations disponibles qui influence le choix des méthodes à utiliser. Après une série de calculs, traitements, statistiques et analyse des résultats, la hiérarchisation du risque est enfin complétée.

Pour présenter le modèle proposé, nous avons opté pour des termes clairs et précis, car, ceux figurants sur le modèle, sont tous utilisés tout au long de ce mémoire, toutefois, il reste quelques notions à définir.

6.1 Classification descendante

Cette étape consiste à classer le projet PPP selon son type, c'est-à-dire, le projet appartient-il au : 1- Projet de transport, 2- Projet de centrale électrique, 3- Projet de barrage, etc.

Cette classification va permettre au projet d'hériter des listes de risques à partir des projets similaires. De cette manière, un projet PPP pour l'autoroute A30 à Montréal, par exemple, va bénéficier des listes des risques déjà identifiés comme suit :

1. une liste des risques communs à tous les projets PPPs;
2. une liste des risques communs des projets de transport dans les PPPs;
3. une liste des risques communs des projets PPPs pour autoroutes;
4. la liste des risques du projet lui-même.

Liste des risques du projet de l'autoroute A30

Liste 1

Risque projet PPP

- risque 11

- risque 12

- risque 13

...

Liste 2

Risque domaine transport PPP

- risque 21

- risque 22

- risque 23

...

Liste 3

Risque autoroutes PPP

- risque 31

- risque 32

- risque 33

...

Liste 4

Risque autoroute A30

- risque 41

- risque 42

- risque 43

...

6.2 Importance du modèle

La simplicité et la structuration du modèle présenté permettent une nette distinction de toutes les étapes que doit suivre un gestionnaire de projet pour identifier, évaluer et hiérarchiser un risque. Ce modèle permet d'éliminer la confusion qui règne autour des méthodes d'identification et d'évaluation en distinguant les différentes notions telles que : objective versus subjective, qualitative versus quantitative et probabiliste versus déterministe. Ceci facilitera la compréhension rapide du parcours qu'emprunte un risque jusqu'à sa hiérarchisation finale et permettra un choix judicieux de la méthode d'analyse à utiliser selon l'étape et les spécificités du projet en cours d'étude. De ce fait, ce modèle est considéré comme une structure d'aide à la gestion systématique des risques dans les projets PPPs. Le modèle est mis sous forme d'un diagramme d'état ce qui facilitera son automatiser et sa programmation informatique.

6.3 Exemple d'application

En raison du caractère confidentiel qui entoure les projets PPPs soit du côté public soit du côté privé, il n'est pas évident de trouver un exemple réel sur lequel nous pouvons appliquer le modèle proposé. C'est pour cette raison que nous avons opté pour l'utilisation d'un exemple fictif. L'exemple suivant est un essai hypothétique pour montrer l'application du modèle conçu à un projet PPP. Le projet à analyser concerne la construction d'une voie ferrée électrique de 1500 Km traversant des terres privées, un désert aride, et une mer par un tunnel submergé. La période de concession s'étend sur 25 ans dans un pays situé dans une zone politiquement instable. L'ensemble des risques de cet exemple est tiré des références suivantes (Li Bing, et al. 2005), (Wang, et al. 1999), (Wang, et al. 2000), et (E.R. Yescombe 2007).

Les étapes du modèle suggèrent que :

- 1- La première étape du modèle consiste à déterminer le type de PPP : Selon la définition du projet nous sommes en présence d'un modèle PPP de transport dans un contexte international.
- 2- La deuxième étape consiste à faire une classification descendante des risques en utilisant des listes préétablies ou une base de données.
- 3- À la troisième étape, plusieurs listes de risques communs à tous les projets de ce type sont préparées. Ces listes contiendront les risques montrés dans les tableaux 6.1, 6.2, 6.3 et 6.4. Les risques sont présentés selon leurs niveaux de classification, ce qui veut dire que le gestionnaire des risques aura quatre listes différentes à savoir :
 - Les risques communs à tous les projets internationaux;
 - Les risques communs à tous les projets PPPs;
 - Les risques communs à tous les projets de transport;
 - Les risques communs à tous les projets de transport ferroviaire.

Tableau 6.1

Risques communs aux projets internationaux

Type de Risque	Catégorie de risque	Nature du risque
Risques communs à tous les projets internationaux	Risques politiques	<ul style="list-style-type: none"> - Nationalisation et Expropriation - Coup d'État - Opposition politique - Instabilité politique
	Risques économiques	<ul style="list-style-type: none"> - Taxes - Annulation de la concession - Restriction sur l'import et l'export - Devise non convertible - Dévaluation - Taux de change
	Risques réglementaires	<ul style="list-style-type: none"> - Changement des lois et règlements - Renforcement des lois
	Risques culturels	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvaises relations avec le gouvernement - Corruption

Tableau 6.2

Risques communs aux projets PPPs

Type de Risque	Catégorie de risque	Nature du risque
Risques communs à tous les projets PPPs	Site	<ul style="list-style-type: none"> - Acquisition du site - Condition du sol - Permis - Permis de l'environnement et les risques - Archéologie et les fossiles - Droit d'accès et facilité - Connexion au site - Contestataire - Disposition de surplus de terrain - Gestion de l'acquisition
	Ressources	<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilité des ressources humaines - Disponibilité des ressources matérielles
	Construction	<ul style="list-style-type: none"> - Sous-contrat de construction - Sous-traitant de construction - Ajustement de prix - Changements faits par les autorités - publiques - Revenu durant la construction
	Achèvement	<ul style="list-style-type: none"> - Retard causé par les Sous-traitants de construction - Autres causes de retard - Conception - Performance
	Exploitation	<ul style="list-style-type: none"> - Les risques de l'utilisation et de la demande - Réseau - Paiement des revenus - Disponibilité et service - Dépenses des opérations - Opex - Maintenance
	Finalisation	<ul style="list-style-type: none"> - Défaut dû à la compagnie du projet - Fin demandée par les autorités publiques - Force majeure - Valeurs résiduelles

Tableau 6.3

Risques communs aux projets de transport

Type de Risque	Catégorie de risque	Nature du risque
Risques communs à tous les projets de transport	Général	<ul style="list-style-type: none"> - Longue durée d'acquisition - Difficulté de coordination dans les différents districts - Opposition du secteur résidentiel - Les taxes

Tableau 6.4

Risques communs aux projets de transport ferroviaire

Type de Risque	Catégorie de risque	Nature du risque
Risques communs à tous les projets de transport ferroviaire	Général	<ul style="list-style-type: none"> - Difficulté à déplacer les services en place - Contrôle du coût de transport - Difficulté d'avoir toutes les approbations de la conception - Compétition du secteur routier - Oppositions pour l'environnement - Cherté du système roulant et des systèmes de contrôle

- 4- À l'étape quatre « Identification des Nouveaux Risques » les gestionnaires des risques doivent compléter la liste préétablie des risques en faisant recours à une identification des risques non inclus dans la première liste. À ce stade, au lieu de faire une identification totale de tous les risques des projets PPPs, les experts auront juste besoin d'identifier les risques relatifs au projet en cours. Selon leurs expériences relatives, les experts utiliseront une ou plusieurs méthodes subjectives telles que le Diagramme d'Influence pour identifier des risques non listés. À la fin de cette étape, une autre liste de risques est ajoutée à la première. La nouvelle liste des risques du projet en cours est montrée sur le tableau 6.5.

Tableau 6.5

Risques du projet en cours

Type de Risque	Catégorie de risque	Nature du risque
Risques relatifs au projet en cours	Partie terrestre du projet	<ul style="list-style-type: none"> - Opposition des propriétaires des terrains agricoles - Risques des zones désertiques - Risques d'attaques terroristes - Moyens d'accès
	Spécifiques au tunnel submergé	<ul style="list-style-type: none"> - Risques géologiques pour les tunnels submergés - Risques de santé dus à l'air comprimé dans le tunnel - Risques d'accident de circulation à l'intérieur du tunnel durant les opérations - Risques d'incendie - Sécurité au travail et impact sur la circulation à la surface - Stabilité du fond marin pour le tunnel - Restrictions imposées à la navigation des bateaux - Opposition hydrologique de la part des travailleurs de la ferry et les pêcheurs - Mauvaises conditions climatiques

- 5- L'étape cinq consiste à commencer l'évaluation de tous les risques identifiés. Dans cette étape, pour chaque risque à évaluer, les gestionnaires des risques utiliseront une analyse objective si la compagnie dispose d'information historique sur le risque (registre des risques). Dans le cas où l'information historique sur le risque est absente, l'analyse est inévitablement subjective. L'étape qui vient après dépend du type d'analyse complétée durant cette étape telle que :
- Pour l'analyse subjective, les gestionnaires des risques doivent opter pour une ou plusieurs méthodes qualitatives. À l'issue de l'analyse, le risque se verra octroyer une probabilité et un degré de sévérité permettant de le classer dans la matrice finale pour sa hiérarchisation;
 - Pour l'analyse objective, les gestionnaires des risques doivent utiliser les données historiques sur le risque à analyser en ayant recours aux méthodes dites quantitatives. La suite du processus d'analyse dans ce cas conduit à l'étape suivante (6).
- 6- Cette étape consiste à faire une analyse objective du risque à partir de données historiques montrant le comportement du risque dans le passé. La finalité de cette étape est de pouvoir déterminer la nature de la méthode quantitative à utiliser :
- déterministe (étape 7), ou
 - probabiliste (étape 8).
- 7- Les méthodes déterministes utilisent des valeurs réelles des paramètres et permettent de calculer l'effet direct du risque sur le projet. Parmi les méthodes déterministes existantes, nous trouvons l'arbre de défaillance, l'arbre de cause-conséquence, etc. Une fois, la probabilité du risque et son impact sont calculés à partir des données spécifiques au projet, le risque est mis dans la matrice finale pour sa hiérarchisation.

- 8- Cette étape suppose l'utilisation de méthodes probabilistes, ce qui signifie que les paramètres du calcul, spécifiques au projet, sont des distributions de probabilités. Donc, tous les résultats sont donnés aussi sous forme de distribution de probabilité. De nos jours, la méthode statistique d'analyse des risques la plus utilisée est celle de Monte Carlo. Les méthodes des ensembles flous ainsi que les réseaux de neurones peuvent être aussi utilisés.
- 9- Du fait que les calculs statistiques peuvent varier d'un modèle statistique à l'autre, donc le choix du meilleur modèle probabiliste d'évaluation de risque (PRA) doit être vérifié par l'utilisation de l'analyse de sensibilité en changeant un paramètre à la fois. Si le modèle montre une certaine stabilité, le risque peut être introduit dans la matrice finale pour sa hiérarchisation. Plusieurs méthodes d'analyse de sensibilité sont utilisées telles que la Uncertainty Sensitivity Index Method (USIM), Birnbaum, Fussell-Vesely, Risk Reduction Worth (RRW), Risk Achievement Worth (RAW), etc.
- 10- À la fin du modèle, les gestionnaires des risques disposeront d'une matrice globale contenant tous les risques avec leur probabilité et leur impact respectifs. Cette matrice ainsi obtenue permettra la hiérarchisation de tous les risques du projet.

6.4 Hiérarchisation des risques

Les étapes précédentes doivent être exécutées pour tous les risques. Une fois, la matrice globale comportant tous les risques est obtenue, des niveaux de tolérances peuvent être définis par les gestionnaires pour une meilleure visibilité des risques. La hiérarchisation peut être faite en regroupant les risques dans de nouvelles catégories à savoir :

1. Les risques de catégorie faible;
2. Les risques de catégorie faible-moyenne;
3. Les risques de catégorie moyenne-élevée;
4. Les risques de catégorie inacceptable.

Il est évident que la plus grande priorité est donnée au quatrième niveau c'est-à-dire la catégorie des risques inacceptables.

La présentation de ce modèle offre aux gestionnaires un outil opérationnel, concret et efficace. Les gestionnaires seront en mesure de mieux cerner les enjeux du projet et capables d'anticiper et de minimiser les impacts de chaque risque. La base de données est l'élément clé de ce modèle. Elle permet d'archiver et de catégoriser les risques selon les types de projets. L'historique des projets identiques ou de même nature est également très important, car il permet d'apprendre des erreurs du passé et d'éviter leurs répercussions négatives sur le projet.

L'objectif de ce modèle est de hiérarchiser les risques. Cette hiérarchisation est très importante, car elle permet de classifier les risques par ordre de priorité. Ainsi, les risques dont l'impact est élevé auront plus d'attention et feront l'objet de plus de prudence de la part des différents intervenants.

Cet outil est un début pour améliorer le déroulement des projets PPPs grâce à une meilleure gestion des risques. Cependant, il faut toujours continuer les recherches afin d'améliorer davantage ce genre de projets. Pour cette raison, le chapitre suivant comprendra une liste de recommandations et d'autres pistes de recherches à explorer au futur dans le cadre des risques associés aux projets de partenariat public privé.

CHAPITRE 7

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

7.1 Conclusion

La première complexité d'un projet PPP vient de la grande diversité de ses acteurs principaux. La durée du projet et le contexte économique multinational sont d'autres facteurs qui viennent augmenter le degré de cette complexité. Cependant, ces acteurs doivent étudier tous les problèmes pour trouver un terrain d'entente sur lequel chacun doit fournir l'effort nécessaire pour faire réussir le projet. Donc à l'origine, un projet PPP est menacé par plusieurs catégories de risques durant toutes les phases de sa réalisation. C'est pourquoi l'évaluation des risques dans les PPPs se trouve parmi les tâches les plus difficiles à accomplir par les gestionnaires.

Les chercheurs commencent à se rendre compte que tous les PPPs ont des caractéristiques communes et par conséquent des risques plus ou moins communs, d'où au lieu de se pencher sur l'identification des risques pour chaque projet, ils ont commencé à développer, par exemple, les critères de succès des projets PPPs, qui ne sont d'autres que des risques à surveiller comme des facteurs sensibles au succès d'un projet PPP (Xueqing Zhang, 2005).

L'analyse descendante proposée par Prasanta K. Dey et Stephen O. Ogunlana, peut être utilisée comme une référence pour les nouvelles recherches dans l'identification et l'analyse des risques dans les projets PPPs. L'analyse descendante générale a déjà montré sa robustesse dans plusieurs domaines, car elle commence par traiter la totalité du problème puis le décomposer au fur et à mesure jusqu'au problème le plus élémentaire. Ceci constitue une assurance contre l'omission d'un problème au cours de l'analyse et permet une automatisation des traitements par les ordinateurs. L'aboutissement de ce processus se traduira par un gain considérable en temps et en argent pour tous les partenaires d'un projet PPP.

Enfin, un projet PPP est l'une des plus complexes tâches à gérer et à maintenir dans un niveau acceptable. Les recherches actuelles ne sont pas encore en mesure de trouver une solution unique aux types de problèmes rencontrés dans les PPPs dus à leur aspect multidimensionnel. Mais chaque jour, les chercheurs nous font part d'une nouvelle méthode plus ou moins adaptée à certains types de PPPs.

Il est à noter que le manque de projets PPPs à travers le monde a contribué à la rareté d'utilisation des différentes méthodes d'analyse des risques. Il faut aussi dire que l'échec de certains projets a engendré une certaine réticence, aussi bien, de la part des acteurs publics que des acteurs privés. Dans certains cas la rigidité du secteur public et son obstination à vouloir faire des profits et retenir le moins de risques possible sans tenir compte de l'intérêt du secteur privé, ont poussé ce dernier à ne pas s'engager dans l'aventure des PPPs.

Le modèle d'aide à la sélection des méthodes d'analyse et de hiérarchisation des risques est un élément avant-gardiste permettant d'anticiper les risques associés à chaque projet, permettant ainsi une meilleure maîtrise des imprévus. En ayant une vision plus précise de l'ampleur des risques auxquels s'expose un projet PPP, les intervenants ont plus de chance de répartir les risques selon les parties les plus aptes à les absorber et de mener à terme leur projet. Ce modèle fournira une aide précieuse aux gestionnaires et aura des répercussions positives au niveau des coûts, des délais et de la qualité des prestations reliées au projet.

Le modèle proposé est l'aboutissement d'une analyse approfondie de différentes méthodes d'analyse des risques. Certaines ont pu être appliquées aux projets PPPs, alors que d'autres n'ont pas pu l'être et sont restées académiques. Ceci étant dit, leurs approches ont grandement contribué à la conception du modèle présenté dans le chapitre consacré aux résultats des recherches.

7.2 Recommandations

Les recommandations que nous pouvons formuler dans le cadre de ce projet convergent vers le développement d'un système expert, du genre Mycin, qui accepte d'entrer les prémisses constituant les règles de raisonnement et une base de connaissances à partir de laquelle il peut déduire (inférer) les résultats.

Les systèmes experts sont des logiciels qui ont été conçus pour résoudre les problèmes qui devaient être résolus par des spécialistes (experts) dans divers domaines. Ces systèmes sont faits par des ingénieurs, mais alimentés en information, par les experts, pour former la base de connaissances. Un modèle d'un système expert est présenté dans la figure 7.1 (François Gruselin, et al. 2003) :

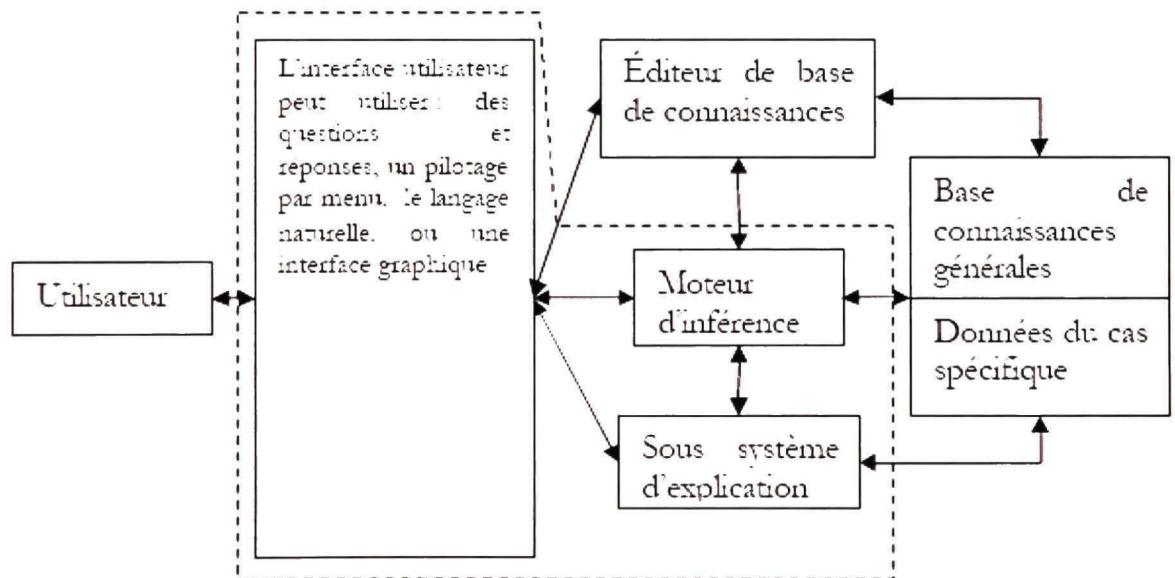


Figure 7.1 Modèle d'un système expert
(Tirée de François Gruselin, et al. 2003)

Source : Cette figure a été tirée de François Gruselin et Julien Vilz. 2003. Vérification et validation d'un système expert pour la mesure fonctionnelle (COSMICXPRT). Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme Maîtrise en Informatique. Facultés Universitaire Notre Dame de la Paix. Belgique.

Mais pour pouvoir alimenter la base de connaissances de ce système expert, une autre recherche doit être faite pour mettre en évidence tous les risques des projets PPPs en suivant le modèle proposé par Prasanta et Ogunlana à savoir :

- Les risques dans les projets internationaux,
- Les risques dans les projets PPPs,
- Les risques dans les projets de transport,
- Les risques dans les projets des centrales électriques,
- Les risques dans les projets des traitements des eaux potables,
- Les risques dans les projets des traitements des eaux usées,
- Etc.

Ce système va permettre d'avoir des listes prédéfinies de risques pour chaque niveau de granularité, du plus haut niveau jusqu'au niveau le plus élémentaire. Des solutions et des moyens de réduction ou d'élimination des risques peuvent être définis pour chaque niveau, ce qui simplifiera grandement la hiérarchisation des risques, qui facilitera par conséquent le traitement des risques, et aidera les gestionnaires à prendre des décisions de plus en plus consistantes, cohérentes et durables.

Enfin, nous souhaitons que ce travail serve pour les futures recherches et ajoute de la lumière sur le sujet le plus épineux dans les projets PPPs qui est la gestion systématique des risques.

ANNEXE I

SOMMAIRE DES OUTILS ET TECHNIQUES D'ANALYSE DES RISQUES DANS LES PPPS

Method	Keynotes	Who and when	Application and previous study
			Topic
Influence diagram	Risk identification Brain storming and Delphi technique Relationship of variables	Asnley and Bonner (1987) Yingsutthipun (1998)	Identification of political risks in international project Identification of risks in transportation project in Thailand
Monte Carlo simulation (MCS)	Distribution form Variables' correlation	Songer et al. (1997) Chau (1995) Wall (1997)	Debt cover ratio (project cashflow) in a tollway project Distribution form for cost estimate Distribution form and correlation between variables in building costs
PERT	(Same as above) Network scheduling	Dey and Ogunlana (2001) Hatush and Skitmore (1997)	Project time risk analysis through simulation Contractor's performance estimate for contractual purpose
Sensitivity analysis	Deterministic Variables' correlation	Yeo (1990) Yeo (1991) Woodward (1995)	Probabilistic element in sensitivity analysis for cost estimate Survey on use of sensitivity analysis in BOT project in UK
MCDM	Multi-objective Subjectivity	Moselhi and Deb (1993) Dozzi et al. (1996)	Project alternative selection under risk Bid make-up decision making
AHP	Systematic approach to incorporate subjectivity Consistency of judgement	Dey et al. (1994) Mustafa and Al-Bahar (1991) Zhi (1995) Nadeem (1998)	Risk analysis for contingency allocation Risk analysis for international construction project Risk analysis for oversea construction project Risk analysis for BOT project in Pakistan
Fuzzy set approach (FSA)	Vagueness of subjective judgement	Kangari and Riggs (1989) Diekmann (1992)	Risk assessment by linguistic analysis Combination of influence diagram with fuzzy set approach
Neural network approach (NNA)	Implicit relationship of variables	Lorterapong and Moselhi (1996) Paek et al. (1993)	Network scheduling by fuzzy set approach Risk pricing in construction project through fuzzy set approach
Decision tree	Expected value	Chua et al. (1997) Boussabaine and Kaka (1998)	Development of budget performance model Cost flow prediction in construction project
Fault tree analysis	Accident analysis Safety management	Haimes et al. (1990) Tulsiani et al. (1990)	Multi objective decision tree Risk evaluator
Risk checklist	From experiences	Perry and Hayes (1985)	Risk and its management in construction project
Risk mapping	Two dimensionality of risk	Williams (1996)	Two dimensionality of project risk
Cause/effect diagram	Risk identification	Dey, 1997	Symbiosis of organizational reengineering and project risk management for effective implementation of projects
Delphi technique	Subjectivity	Dey (1997)	Same as above
Combined AHP and decision tree	Probability, severity and expected monetary value	Dey, 2001	Decision support system for risk management

BIBLIOGRAPHIE

- Akintola Akintoye, Matthias Beck et Cliff Hardcastle. 2003. *Public-Private Partnerships Managing risk and opportunities*, School of the built and natural environment, Glasgow Caledonian University, 422 p.
- Bulent Gurel. 2005. *Risque Identification In Public Private Partnership*, Rapport pour l'obtention d'une Maîtrise sans mémoire en Génie de Construction soumis au Dr Edmond T. Miresco. École de Technologie Supérieure, Montréal, 27 Avril 2005. 70p.
- Clifford F. Gray, Erik W. Larson. 2007. *Management de Projet*. Adaptation Française Yves Langevin. Edition Chenelière McGraw Hill. 275 p.
- Conseil Canadien Pour les Partenariats Public-Privé. Sept 2004. Report submitted to the Commity on the Public Finance Regarding the Bill 61: An Act respecting the Agence des Partenariats Public-Privé du Québec. Septembre 2004.
- Conseil Canadien des Sociétés Publiques-Privées. Nov. 2004. *Projet de loi 61 : Loi sur l'Agence des partenariats public-privé du Québec*. Présentation à la Commission Parlementaire le 11 Novembre 2004.
- Conseil Canadien des Sociétés Publiques-Privées. Mars 2005. *For the Record – The Road to saving our Services*. Réimpression de the Globe and Mail – Mars 2004.
- Conseil Canadien des Sociétés Publiques-Privées. Avril 2005. *Responsible PPP Procurement for British Columbia*. Avril 2005.
- Conseil Canadien Pour les Partenariats Public-Privé-Définition. En ligne <http://www.pppcouncil.ca/aboutPPP_definition.asp>. Consulté le 18/09/2007.

- Daniel Baloi, Andrew D.F. Price. 2003. Modeling global risk factors affecting construction cost performance, *International Journal of Project Management*.
- Darrin Grimsey, Mervyn K. Lewis. 2002. Evaluating the risks of public private partnerships for infrastructure projects. *International Journal of Project Management* 20 (2002) 107-118.
- Démians-Bonaud d'Archimbaud Édouard, Foessel Laure, Granbichler Josef, Le Pavéc Jean, Mouterde Joël, Saiag Franck et Wong Wei Pin 2006. Application d'un réseau de neurones à la prédiction d'un cours de bourse, rapport de stage préparé à l'École Polytechnique de Paris. 10 mai 2006. En ligne <<http://edouard.darchimbaud.free.fr>>. Consulté le 11/05/2008.
- Didier Muller. 2008, Introduction à la théorie des graphes. En ligne. <<http://www.apprendre-en-ligne.net/graphes>>. Consulté le 24/02/2008.
- E.R. Yescombe. 2007. *Public-Private Partnerships: Principles of Policy and Finance*. Published by Butterworth-Heinemann / Elsevier, 350 p.
- Eva Regnier. April 2005. Activity Completion Times in PERT and Scheduling Network Simulation, Part II, Defense Resources Management Institute, Naval Postgraduate School <www.nps.navy.mil/drmi/> Monterey California, April 8, 2005.
- François Gruselin et Julien Vilz. 2003. Vérification et validation d'un système expert pour la mesure fonctionnelle (COSMICXPRT). Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme Maîtrise en Informatique. Facultés Universitaire Notre Dame de la Paix. Belgique.

- G. Dreyfus. 1997. Les Réseaux de Neurones, une Technique Opérationnelle pour le Traitement des Données Industrielles, Économiques et Financières, Mesures, n ° 699, novembre. École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles - Paris (ESPCI).
- G. Dreyfus et G. Toulouse L. Personnaz. 1999. Perceptrons, past and present, École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles-Paris. École Normale Supérieure (Paris). Publié en anglais et en italien. Référence de la version italienne : Perceptron : passato e presente, in Frontiere della Vita, Vol. III, Parte seconda : Organizzazione di sistemi intelligenti, Sezione VI : Modelli di reti neurali per il calcolo e l'apprendimento, 703-716 (Enciclopedia Italiana, 1999).
- Hélène Denis. 1998. Comprendre et gérer les risques sociotechnologiques majeurs. Édition École Polytechnique de Montréal (Avril 1998). 342 p.
- Ian T. Cameron & Raghu Raman. 2005. Process Systems Risk Management, Edition Elsevier Academic Press 2005. 615p.
- J. Davidson Frame. 1997. Le nouveau management de projet, Édition AFNOR, (1997).311 p.
- James R. Chapman. 1997. Project Risk Management. Washington, DC. En Ligne. <http://www.hyperthot.com/pm_risk.htm>. Consulté le 19/11/2007.
- Jean-Louis Brissard et Marc Polizzi. 1996. Gérer la production industrielle Outils et méthodes, Édition MARE Nostrum 1996. 352 p.
- Jeffrey K. Pinto. 2007. Project Management Achieving Competitive Advantage, Edition Pearson Prentice Hall 2007, Pennsylvania State University. Chapitre 7, p218-246.

- John Raftery. 1994. Risk Analysis In Project Management, Edition E & FN Spon, an imprint of Chapman & Hall 1994. 143p.
- Journal de l'Association des mathématiciens. Oct. 2001. Etats d'AME - Fuzzy sets et théories des possibilités, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (No 5 - Octobre 2001).
- Lavagnon A. Ika 2004. L'analyse de la valeur acquise en contexte d'interdépendance des chemins : Une analyse à explorer. Chargé de cours à la maîtrise en gestion de projet. Université de Québec en Outaouais. 2004.
- Li Bing, A. Akintoye, P.J. Edwards, C. Hardcastle. 2005. The allocation of risk in PPP/PFI construction projects in the UK, International Journal of Project Management 23 (2005) 23-35. Elsevier Ltd and IPMA.
- Logic Programming Associates Ltd. Imperial College of London. 1980. En ligne. < <http://www.lpa.co.uk/fln.htm> >. Consulté le 19/11/2007.
- Marie-Elise Ernould. 2007. Comparaison des Approches Pert Stochastique et Pert Flou. Application à un Projet Industriel. Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur civil en physique. Université Libre de Bruxelles Faculté des Sciences Appliquées.
- Marvin Rausand. 2005. System Analysis Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis. Tiré du livre "System Reliability Theory; Models, Statistical Methods and Applications (Second Edition), Wiley, 2004" Slide chapitre 3.
- Mohammad Modarres. 2006. Risk Analysis in Engineering Technics, Tools, and Trends. CRC Press Taylor & Francis Group. 401 p.

- N.J. Smith, Tony Merna et Paul Jobling. 1999. Managing Risk in Construction Projects. Edition Blackwell Science. 232 p.
- Neau Erwan 2003. La méthode AMDEC (FMEA). En ligne. <<http://erwan.neau.free.fr/Toolbox/AMDEC.htm>>. Consulté le 24/01/2008.
- Peter W. G. Morris, Jeffrey K. Pinto. 2004. The wiley guide to managing projects. Edition John Wiley & Sons Inc. 1440 p. (p30-46).
- Prasanta K. Dey and Stephen O. Ogunlana. 2004. Selection and application of risk management tools and techniques for build-operate-transfer projects, Industrial Management & Data Systems, Volume 104- Number 4 - 2004
- Reference Document. Feb 2000. Software Risk Management, A Practical Guide, February, 2000. Department of Energy Quality Managers Software Quality Assurance Subcommittee, SQAS21.01.00 – 1999
- Réza Moghadas. 2001. Gestion des risques dans les projets de développement, Mémoire de Maîtrise en Génie Logiciel, École des Technologies Supérieures. Montréal, (2001).
- Robert L K Tiong et Jahidul Alum. 1997. Evaluation of proposals for BOT projects, International Journal of Project Management Vol 15 No 2, pp67-72, 1997
- Roosbeh Kangari, member IEEE, and Leland S. Riggs. May 1987. Construction Risk Assessment by Linguistics, IEEE Transactions on Engineering Management Vol 36, No 2, May 1987.

- S.Q. Wang, Robert L.K. Tiong, S.K. Ting et D. Ashley 1999. Evaluation and management of foreign exchange and revenue risks in China's BOT projects, *Construction Management and Economics* (2000) 18, 197-207.
- S.Q. Wang, Robert L.K. Tiong, S.K. Ting et D. Ashley 2000. Evaluation and management of political risks in China's BOT projects, *Journal of Construction Engineering and Management* May/June 2000. School of Construction Management, Queensland university of technology, Australia *Construction Management and Economics* 1997 15, 327-340.
- Simon Bourdeau, Suzanne Rivard, Henri Barki. 2003. Évaluation du risque en gestion des projets. CIRANO Montréal Août 2003.
- T.S. Chee and K.T. Yeo. 1995. Risk Analysis of a Build-Operate-Transfer (B.O.T) Power Plant Project. Centre for Engineering & Technology Management. Nanyang Technological University – Singapore. IEEE 1995.
- Tan Hiap Keong. 1997. Risk Analysis Methodologies. National University of Singapore. En Ligne. < <http://home.pacific.net.sg/~thk/risk.html> >. Consulté le 19/11/2007.
- The Course, Project Management Institute, Student Materials. En ligne. <<http://www.thecourse-online.us/Students/InfluenceDiagram.htm>>. Consulté le 30/11/2007.
- Ulrich Hauptmanns, Wolfgang Werner. 1991. Engineering Risks : Evaluation and Valuation. Edition Springer-Verlag (avril 1991). 260 p.

- United Nations Industrial Development Organization. 1996. Guidelines For Infrastructure Development through Build-Operate-Transfer (BOT) Projects, Unido Publication Sales No UNIDO.95.6.E Vienna 1996. 308p.
- Vancouver Coastal Health. 2004. Project Report: Achieving Value for Money Academic Ambulatory Care – British Columbia Government, Centre Project. November 2004
- Wikipedia. Examples of Markov Chains. Encyclopédie sur internet. En Ligne. <http://en.wikipedia.org/wiki/Examples_of_Markov_chains>. Consulté le 10/02/2008.
- Xueqing Zhang. 2005. Critical Success Factors for Public-Private Partnerships in Infrastructure Development, Journal of Construction Engineering and Management ASCE January 2005.
- Yacov Y. Haims. 2004. Risk Modeling, Assessment, and Management, Wiley Series Edition Wiley Interscience. 864 p.
- Zedan Hatush and Martin Skitmore. 1997. Assessment and evaluation of contractor data against client goals using PERT approach, Department of Surveying of Saltford, UK